

PROYEK AKHIR TERAPAN-RC14-6599

MODIFIKASI PERENCANAAN GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA SURABAYA DENGAN METODE BETON PRACETAK (PRECAST)

M. SYAIFUDDIN ZUHRI
NRP. 1011141000088

Dosen Pembimbing:
Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.EngSc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

FINAL PROJECT APPLIED -RC14-6599

PLANNING MODIFICATION OF LECTURE BUILDING IN SURABAYA CITY USING PRECAST METHOD

M. SYAIFUDDIN ZUHRI
NRP. 10111410000088

Advisor:
Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.EngSc., Ph.D.

DEPARTMENT OF CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING
Faculty of Vocation
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



LEMBAR PENGESAHAN

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

MODIFIKASI PERENCANAAN GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA SURABAYA DENGAN METODE BETON PRACETAK (*PRECAST*)

PROYEK AKHIR TERAPAN

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Terapan Teknik
Pada

Konsentrasi Bangunan Gedung
Program Studi D-4 Teknik Infrastruktur Sipil
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya, 10 Juli 2018

Disusun Oleh:



M. SYAIFUDDIN ZUHRI

NRP. 10111410000088

26 JUL 2018

Disetujui Oleh
Dosen Pembimbing Proyek Akhir Terapan:



Prof. Dr. M. Sigit Darmawan, M.EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



TUGAS AKHIR TERAPAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA EMPAT TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI ITS

No. Agenda : 041523/IT2.VI.8.1/PP.05.02/2018

Tanggal : 17 Juli 2018

Judul Tugas Akhir Terapan	Modifikasi Perencanaan Gedung Perkuliahan Di Kota Surabaya Dengan Metode Precetak (Precast)		
Nama Mahasiswa	M. Syaifuddin Zuhri	NRP	10111410000088
Dosen Pembimbing 1	Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.EngSc. PhD NIP 19630726 198903 1 003	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	- NIP -	Tanda tangan	

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
	Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.EngSc. PhD NIP 19630726 198903 1 003
<ul style="list-style-type: none">- Abut plat melengk di gbr ✓- Profil melengk di tumpukan pd gbr khusus ✓- Sambungan di blow-up ✓- Kontrol plat sbg di tumpukan abut gbr ✓→ Catatan beban gempa & kapasitas pegas pracetak.	 Ridho Bayuaji, ST. MT. PhD NIP 19730710 199802 1 002
<ul style="list-style-type: none">- Gbr 11 (Gbr Bawah), Gbr 13, Gbr 18 (plat) ✓- $P_u = 636 \text{ ton}$ di tumpukan ✓- Cek lagi shear connection anchoring dalam ✓- Gbr 28 (Shear connection)- Gbr 31 s.d 39 ✓	 Nur Achmad Husin, ST. MT NIP 19720115 199802 1 001
<ul style="list-style-type: none">- Cek balok anch (ancher tul menerus/pele) ✓- STR 46 ✓- Panjang balok anch di gbr depan ✓- STR 53, STR 63 ✓- Tul Gbr, kolom check Gbr + perker ✓- STR 66 (Momen tul), STR 67, STR 70 ✓- Plat lands balok ✓	NIP -

PERSETUJUAN HASIL REVISI			
Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4
 Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.EngSc. PhD NIP 19630726 198903 1 003	 Ridho Bayuaji, ST. MT. PhD NIP 19730710 199802 1 002	 Nur Achmad Husin, ST. MT NIP 19720115 199802 1 001	- NIP -

Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjilidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan	Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
	 Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.EngSc. PhD NIP 19630726 198903 1 003	
		NIP -

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
 Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1. M. Syaifuddin Zuhri 2
NRP : 1. 10111410000088 2
Judul Tugas Akhir : Modifikasi Perencanaan Gedung Perkuliahan di Kota Surabaya dengan Metode Beton Pracetak (Precast)
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.Eng.Sc., Ph.D.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1.	08 - 02 - 2018	➤ Asistensi review hasil sempro : (Sistem Struktur, preliminary Desain, Susunan struktur Pracetak, Pembebanan)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		➤ Penambahan ruang mesin Lift di atas atap		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		➤ Ubah sistem struktur dari sistem gandar menjadi SRPMK.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.	15 - 02 - 2018	➤ Asistensi Permodelan elemen struktur		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		➤ Asistensi Preliminary Desain struktur sekunder		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.	02 - 03 - 2018	➤ Asistensi input gaya ke program SAP.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		➤ Asistensi pengecekan periode struktur		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		➤ Revisi Dimensi kolom dan balok induk		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		➤ Lanjutkan penginputan & pengecekan kontrol SAP 2000.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.	08 - 03 - 2018	➤ Lanjutkan perhitungan kontrol Dinamis		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Kontrol periode fundamental (sudah)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Gaya Geser dasar gempa (sudah)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Kontrol partisiipasi massa (sudah)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Simpangan antar lantai (sudah)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Berat bangunan SAP dan manual (belum)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.	03 - 04 - 2018	➤ Asistensi penulangan pelat Pracetak		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		➤ Asistensi kontrol penulangan pelat pracetak.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
 Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 M. Syaifuddin Zuhri 2
NRP : 1 10111410000088 2
Judul Tugas Akhir : Modifikasi Perencanaan Gedung Perkuliahan di Kota Surabaya dengan Metode Beton Precast (Precast)
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.EngSc., Ph.D.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
6.	11-04-2018	Asistensi mengenai berat bangunan manual dibanding Output SAP 2000.				
		Asistensi mengenai beban angin		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.	18-04-2018	Asistensi kontrol berat bangunan Manual dibanding Kombinasi 1.0DL+1.0LL				
		Asistensi perhitungan Shear Connector.		B	C	K
		Lanjutkan perhitungan penulangan balok induk		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.	4-05-2018	Cek kontrol Elemen precast balok induk				
		Lanjutkan perhitungan tulangan kolom		B	C	K
		Lanjutkan perhitungan HBK		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9.	9-05-2018	Asistensi perhitungan penulangan kolom				
		Lanjutkan perhitungan sambungan.		B	C	K
		Buat metode pelaksanaan.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10.	31-05-2018	Tipe sambungan				
		Metode pelaksanaan		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
 Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 M. Syaifuddin Zuhri 2
NRP : 1 10111410000688 2
Judul Tugas Akhir : Modifikasi perencanaan Gedung perkuliahan di Kota Surabaya dengan Metode Beton Pracetak (Precast)
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.Eng.Sc., Ph.D.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
11.	22-06-2018	Asistensi progress Gambar AutoCAD.				
		Asistensi Sambungan Koneksi.				
		Asistensi Gambar detail Sambungan & Hex		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12.	3/7/2018	Disiplin Detail				
		HTB		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13.	9/7/2018	Tul Beton				
		ditambah dgn		B	C	K
		Aid ben bu bu -		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



ABSTRAK

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

MODIFIKASI PERENCANAAN GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA SURABAYA DENGAN METODE BETON PRACETAK (*PRECAST*)

Nama : M. Syaifuddin Zuhri
NRP : 10111410000088
Departemen : D4 Teknik Infrastruktur Sipil
FV-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D.

ABSTRAK

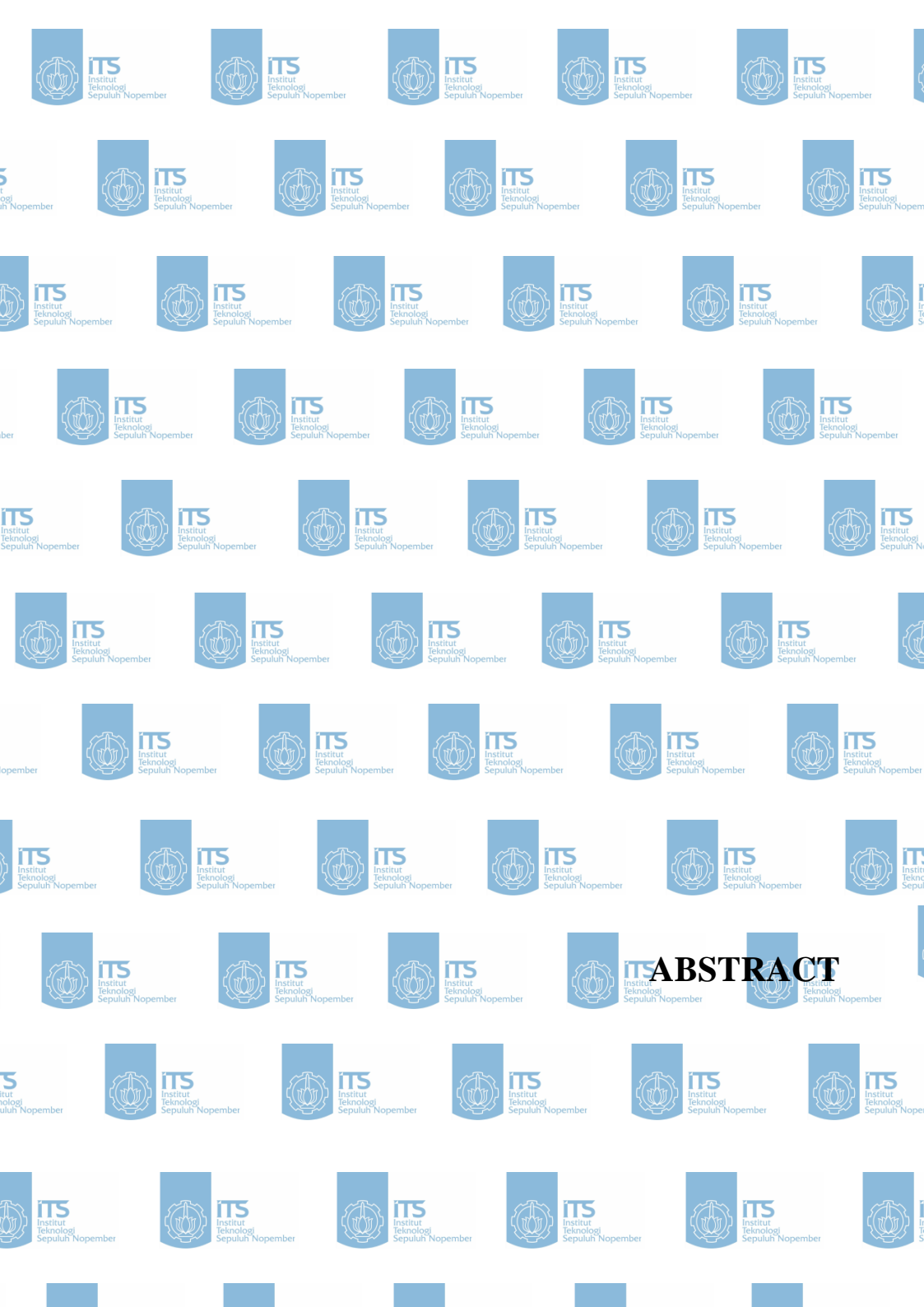
Metode beton pracetak (*precast*) adalah teknologi konstruksi struktur beton dengan komponen-komponen yang dicetak terlebih dahulu pada suatu tempat khusus (*fabrication*) dan selanjutnya dipasang di lokasi proyek (*installation*). Pemakaian metode beton pracetak (*precast*) memiliki beberapa kelebihan dibandingkan metode konvensional. Kelebihan tersebut meliputi waktu pengerjaan yang relatif singkat, proses produksinya tidak tergantung cuaca, tidak memerlukan tempat penyimpanan material yang luas, kontrol kualitas beton lebih terjamin, hemat akan bekisting dan penopang bekisting, serta kemudahan dalam pelaksanaannya sehingga dapat mereduksi durasi proyek dan secara otomatis biaya yang dikeluarkan menjadi lebih kecil.

Struktur gedung perkuliahan di Kota Surabaya yang didesain merupakan Gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya dengan luas bangunan eksisting sebesar 590 m². Pada kondisi sebenarnya gedung perkuliahan eksisting menggunakan metode cor setempat dan memiliki total jumlah lantai yakni 7 lantai, yang kemudian dimodifikasi menjadi total 9 lantai dengan menggunakan metode beton pracetak. Elemen pracetak hanya balok dan pelat, sedangkan pada elemen kolom, tangga, dan lift direncanakan menggunakan metode cor ditempat. Berdasarkan hasil Standart Penetration Test (SPT), didapatkan bahwa gedung dibangun diatas

tanah dengan kondisi tanah lunak (kelas situs SE). Selain itu, karena merupakan fasilitas pendidikan maka termasuk kategori risiko IV dan disimpulkan untuk bangunan ini termasuk Kategori Desain Seismik D. Gedung ini dirancang menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Hasil dari modifikasi gedung perkuliahan di Kota Surabaya ini meliputi ukuran balok induk 50/70, ukuran balok anak 30/50, dan ukuran kolom 80x80 cm. Sambungan antar elemen pracetak menggunakan sambungan basah dan konsol pendek.

Kata Kunci: Gedung Perkuliahan di Kota Surabaya, Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus, Beton Pracetak.



ABSTRACT

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PLANNING MODIFICATION OF LECTURE BUILDING IN SURABAYA CITY USING PRECAST METHOD

Name : M. Syaifuddin Zuhri
NRP : 10111410000088
Departement : D4 Teknik Infrastruktur Sipil
FV-ITS
Advisor : Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D.

ABSTRACT

Precast method is concrete construction technology using components which casted first at fabrication and then casted in project location (installation). This method has several advantages than conventional method. Those advantages encompass brief processing time, the production process not depending at weather, unnecessary too much space of material storage, guaranteed quality control of the concrete, scanty amount of formwork, and the least but not least, the ease of implementation can reduce the project duration and also the project cost that needed is smaller.

The structure of the Lecture Building in Surabaya City which is designed is G Building of Muhammadiyah University Surabaya with the existing building area of 590 m². In the actual condition of existing lecture building using in situ concrete pouring method and has a total number of floors is 7 floors, which then modified into a total of 9 floors using precast concrete method. The precast elements are only beams and plates, whereas in column elements, stair, and lift were planned with in situ cast. Based on the results of Standard Penetration Test (SPT), found that the building is built on soil with soft soil conditions (SE site class). In addition, since it is an educational facility it belongs to the category of risk IV and concluded for this building including the Seismic Design

Category D. This building is designed using a Special Moment Bearer Frame System (SRPMK).

The modification result of Lecture Building In Surabaya City encompass 50/70 primary beam dimension, 30/50 secondary beam dimension, and 80x80 cm column dimension. Connector between precast elements using wet connection and bracket.

Keywords: Lecture Building in Surabaya City, Special Moment Bearer Frame System, Precast Concrete.



KATA PENGANTAR

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, serta shalawat dan salam yang selalu tercurah kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW sehingga kami dapat menyusun dan menyelesaikan Proyek Akhir Terapan ini.

Selama proses penyusunan Proyek Akhir Terapan ini, penulis mendapatkan banyak bimbingan, dukungan dan pengarahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat yang besar penulis menyampaikan rasa terima kasih yang tulus dan sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT atas segala karunia dan kesempatan yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Proyek Akhir Terapan ini.
2. Orang tua dan keluarga tercinta yang selalu memberikan dukungan baik doa dan materil, dan menjadi motivasi penulis dalam menyelesaikan Proyek Akhir Terapan ini.
3. Bapak Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.EngSc., Ph.D. selaku dosen konsultasi yang telah banyak memberikan bimbingan, petunjuk, dan motivasi dalam penyusunan Proyek Akhir Terapan ini.
4. Ibu Siti Kamilia Aziz, S.T., M.T. selaku Dosen Wali penulis.
5. Teman-teman Teknik Infrastruktur Sipil yang terus mendukung dan memberikan semangat dalam penyelesaian Proyek Akhir Terapan ini.
6. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan Proyek Akhir Terapan ini. Seluruh dosen pengajar Departemen Teknik Infrastruktur Sipil FV-ITS, terima kasih atas ilmu yang telah diberikan. Seluruh staff dan karyawan Departemen Teknik Infrastruktur Sipil FV-ITS.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan Proyek Akhir Terapan ini banyak terdapat kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran dari berbagai pihak sangat diharapkan demi kesempurnaan

Proyek Akhir Terapan ini. Penulis berharap laporan ini nantinya dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Juli 2018

Penulis



DAFTAR ISI

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR GAMBAR	xxiii
BAB I	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat	3
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Umum.....	5
2.2 Sistem Struktur Gedung	5
2.2.1 Sistem Rangka Pemikul Momen	5
2.3 Tinjauan Elemen Pracetak.....	6
2.3.1 Pelat.....	7
2.3.2 Balok	8
2.3.3 Kolom.....	10

2.4	Perencanaan Sambungan.....	10
2.4.1	Sambungan Dengan Cor Setempat.....	11
2.4.2	Sambungan Las	12
2.4.3	Sambungan Baut.....	13
2.5	Jenis Sambungan Balok ke Kolom.....	14
2.5.1	Sambungan Billet	14
2.5.2	Sambungan Pelat	15
2.5.3	Sambungan Beton Corbel.....	16
2.6	Jenis Sambungan Pelat ke Pelat	16
2.6.1	Sambungan Loop.....	16
2.6.2	Sambungan Menerus	17
2.7	Titik-Titik Angkat dan Sokongan.....	18
2.7.1	Pengangkatan Pelat Pracetak.....	18
2.7.2	Pengangkatan Balok Pracetak	19
2.8	Tinjauan Penanganan Elemen Pracetak.....	22
2.8.1	Fase-Fase Penanganan Produk Pracetak	22
2.9	Studi (Tugas Akhir Terapan) Terdahulu	23
2.9.1	Tugas Akhir 1 (Syarifuddin, 2016).....	23
2.9.2	Tugas Akhir 2 (Faizi, 2017)	23
BAB III.....		25
METODOLOGI		25
3.1	Data Perencanaan	26
3.2	Penentuan Kriteria Desain.....	29
3.3	Preliminary Design.....	30
3.3.1	Perencanaan Dimensi Kolom	30

3.3.2	Perencanaan Dimensi Balok Induk	30
3.3.3	Perencanaan Dimensi Pelat	31
3.4	Perhitungan Struktur Sekunder	32
3.4.1	Perencanaan Pelat.....	32
3.4.2	Kontrol retak	34
3.4.3	Perencanaan Balok Anak	35
3.4.4	Perencanaan Tangga.....	35
3.4.5	Perencanaan Lift.....	35
3.5	Pembebanan	36
3.5.1	Beban Statis.....	36
3.5.2	Beban Gempa	38
3.5.3	Kombinasi Pembebanan.....	39
3.6	Permodelan dan Analisa Struktur.....	41
3.7	Perhitungan Struktur Utama.....	41
3.7.1	Perencanaan Balok Induk.....	42
3.7.2	Perencanaan Kolom	45
3.7.3	Persyaratan “Strong Column Weak Beams”	45
3.8	Perencanaan Sambungan.....	46
3.8.1	Perencanaan Sambungan Balok Pracetak Dengan Kolom.....	47
3.8.2	Perencanaan Sambungan Balok Pracetak Dengan Pelat Pracetak	49
3.8.3	Perencanaan Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak.....	50
3.9	Kontrol Elemen Pracetak	51
3.9.1	Kontrol Pengangkatan	51

3.9.2	Kontrol Penumpukan.....	52
3.9.3	Kontrol Pemasangan.....	53
3.9.4	Kontrol Pengecoran.....	53
3.10	Penggambaran Hasil Perhitungan.....	54
BAB IV.....		55
PEMBAHASAN.....		55
4.1	Preliminary Desain	55
4.1.1	Umum.....	55
4.1.2	Data Perencanaan	55
4.1.3	Pembebanan.....	56
4.1.4	Perencanaan Dimensi Balok.....	56
4.1.5	Perencanaan Tebal Pelat.....	60
4.1.6	Perencanaan Dimensi Kolom	70
4.2	Perencanaan Struktur Sekunder.....	71
4.2.1	Perencanaan Pelat.....	71
4.2.2	Perencanaan Balok Anak Pracetak.....	115
4.2.3	Perencanaan Tangga.....	153
4.2.4	Perencanaan Balok Lift	172
4.3	Pemodelan Struktur	187
4.3.1	Umum.....	187
4.3.2	Data-Data Perencanaan	187
4.3.3	Pembebanan.....	189
4.3.4	Kombinasi Pembebanan	197
4.3.5	Analisa Beban Gempa	199
4.3.6	Pembebanan Gempa Dinamis.....	202

4.3.7	Kontrol Desain	205
4.4	Perencanaan Struktur Utama.....	226
4.4.1	Umum.....	226
4.4.2	Perencanaan Balok Induk.....	226
4.4.3	Perencanaan Kolom	293
4.4.4	Desain Hubungan Balok Kolom	307
4.5	Perencanaan Sambungan.....	309
4.5.1	Umum.....	309
4.5.2	Konsep Desain Sambungan.....	310
4.5.3	Penggunaan <i>Topping</i> Beton	314
4.5.4	Perencanaan Sambungan Balok dan Kolom	315
4.5.5	Perencanaan Sambungan Balok Induk dan Balok Anak	333
4.5.6	Perencanaan Sambungan Pelat dan Balok.....	348
4.6	Metode Pelaksanaan.....	351
4.6.1	Umum.....	351
4.6.2	Fabrikasi.....	353
4.6.3	Transportasi.....	353
4.6.4	Penyimpanan	356
4.6.5	Pengangkatan	356
4.6.6	Pemasangan.....	358
4.6.7	Pengecoran	358
4.6.8	Perawatan	367
BAB V	373
PENUTUP	373
5.1	Kesimpulan	373

5.2	Saran.....	374
DAFTAR PUSTAKA.....		377
BIODATA PENULIS.....		379
LAMPIRAN		381



DAFTAR TABEL

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbedaan metode penyambungan	11
Tabel 2. 2 Angka pengali beban statis ekuivalen untuk menghitung gaya pengangkatan dan gaya dinamis	21
Tabel 3. 1 Perbandingan Bangunan Eksisting dan Modifikasi ...	27
Tabel 3. 2 Persentase Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda Pendek	29
Tabel 3. 3 Persentase Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik ..	29
Tabel 3. 4 Beban Mati pada Struktur	37
Tabel 3. 5 Beban Hidup pada Struktur	37
Tabel 4. 1 Rekapitulasi Dimensi Balok Induk	58
Tabel 4. 2 Rekapitulasi Dimensi Balok Anak	60
Tabel 4. 3 Tabel β_1	76
Tabel 4. 4 Tulangan Terpasang pada Pelat	113
Tabel 4. 5 Tabel β_1	124
Tabel 4. 6 Tabel β_1	129
Tabel 4. 7 Tabel β_1	134
Tabel 4. 8 Tulangan Tumpuan Terpasang pada Balok Anak ...	151
Tabel 4. 9 Tulangan Lapangan Terpasang pada Balok Anak ...	151
Tabel 4. 10 Tabel β_1	160
Tabel 4. 11 Tabel β_1	167
Tabel 4. 12 Spesifikasi C300 <i>Passenger Elevator</i>	172
Tabel 4. 13 Tabel β_1	176
Tabel 4. 14 Tabel β_1	182
Tabel 4. 15 Faktor Arah Angin, K_d	192
Tabel 4. 16 Koefisien Tekanan Internal	194
Tabel 4. 17 Nilai Koefisien Tekanan Eksternal	196
Tabel 4. 18 Koefisien Situs F_a	200
Tabel 4. 19 Koefisien Situs F_v	200
Tabel 4. 20 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Perioda Pendek	202

Tabel 4. 21	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik.....	202
Tabel 4. 22	Tabel Rekapitulasi Pembebanan Gravitasi Manual.....	206
Tabel 4. 23	Pembebanan Gravitasi pada SAP 2000 v14.....	206
Tabel 4. 24	Modal Rasio Partisipasi Massa	215
Tabel 4. 25	Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x	216
Tabel 4. 26	Koefisien untuk Batas Atas dari Periode yang Dihitung	217
Tabel 4. 27	Modal Periode dan Frekuensi Struktur.....	217
Tabel 4. 28	Rekapitulasi Nilai C_s	219
Tabel 4. 29	Reaksi Dasar Struktur	220
Tabel 4. 30	Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa.....	221
Tabel 4. 31	Simpangan Antar Lantai yang Terjadi Akibat Beban	223
Tabel 4. 32	Kontrol Simpangan Arah X Akibat Beban Gempa Arah X.....	223
Tabel 4. 33	Kontrol Simpangan Arah Y Akibat Beban Gempa Arah X.....	224
Tabel 4. 34	Kontrol Simpangan Arah X Akibat Beban Gempa Arah Y.....	224
Tabel 4. 35	Kontrol Simpangan Arah Y Akibat Beban Gempa Arah Y.....	225
Tabel 4. 36	Tabel β_1	235
Tabel 4. 37	Tabel β_1	241
Tabel 4. 38	Momen <i>Envelope</i> pada Balok Akibat Beban Gravitasi dan Beban Gempa.....	249
Tabel 4. 39	Tabel β_1	250
Tabel 4. 40	Kapasitas Momen Nominal Balok B1	266
Tabel 4. 41	Konfigurasi Penulangan dan Kapasitas Momen Nominal.....	268
Tabel 4. 42	Penulangan Tumpuan Balok Induk.....	292
Tabel 4. 43	Penulangan Lapangan Balok Induk	292
Tabel 4. 44	Rekapitulasi Gaya dalam Kolom (<i>Frame 177</i>).....	296
Tabel 4. 45	Tabel β_1	319
Tabel 4. 46	Rekapitulasi Perhitungan Konsol pada Kolom	323

Tabel 4. 47	<i>Recommended Shear-Friction Coefficient</i>	324
Tabel 4. 48	<i>Required Development Lengths</i>	325
Tabel 4. 49	Tabel β_1	335
Tabel 4. 50	Rekapitulasi Perhitungan Konsol pada Balok Induk	339
Tabel 4. 51	<i>Recommended Shear-Friction Coefficient</i>	341
Tabel 4. 52	<i>Required Development Lengths</i>	341

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



DAFTAR GAMBAR

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pelat Pracetak Berlubang (<i>Hollow Core Slab</i>).....	7
Gambar 2. 2 Pelat Pracetak Tanpa Lubang (<i>Solid Slab</i>).....	8
Gambar 2. 3 Pelat Pracetak <i>Double Tee</i>	8
Gambar 2. 4 Balok Berpenampang Persegi (<i>Rectangular Beam</i>)	9
Gambar 2. 5 Balok Berpenampang L (<i>Ledger Beam</i>)	9
Gambar 2. 6 Balok T Terbalik (<i>Inverted Tee Beam</i>)	9
Gambar 2. 7 Sambungan dengan Cor Setempat	12
Gambar 2. 8 Sambungan dengan Las	13
Gambar 2. 9 Sambungan dengan Menggunakan Baut.....	14
Gambar 2. 10 Sambungan Billet.....	15
Gambar 2. 11 Sambungan Pelat	15
Gambar 2. 12 Sambungan Corbel.....	16
Gambar 2. 13 Sambungan Loop	17
Gambar 2. 14 Sambungan Menerus	17
Gambar 2. 15 Posisi Titik Angkat Pelat (4 buah titik angkat) ..	18
Gambar 2. 16 Posisi Titik Angkat Pelat (8 buah titik angkat) ..	19
Gambar 2. 17 Pengangkatan Balok Pracetak	20
Gambar 2. 18 Model Pembebanan Balok Pracetak Saat Pengangkatan.....	20
Gambar 2. 19 Titik-Titik Angkat dan Sokongan Sementara untuk Produk Pracetak Balok.....	21
 Gambar 3. 1 Diagram Alir Metode Penyelesaian Proyek Akhir Terapan.....	26
Gambar 3. 2 Denah Lantai Eksisting.....	28
Gambar 3. 3 Denah Lantai Modifikasi	28
Gambar 3. 4 Diagram Alir Perhitungan Penulangan Komponen Lentur	33
Gambar 3. 5 Ilustrasi Kuat Momen yang Bertemu di HBK	46
Gambar 3. 6 Sambungan Balok dengan Kolom.....	48
Gambar 3. 7 Parameter Geometri Konsol Pendek.....	48
Gambar 3. 8 Hubungan Balok Kolom	49
Gambar 3. 9 Sambungan Antara Balok dengan Pelat.....	50

Gambar 3. 10	Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak	51
Gambar 3. 11	Contoh Pengangkatan.....	52
Gambar 3. 12	Contoh Penumpukan	53
Gambar 3. 13	Contoh Pemasangan	53
Gambar 3. 14	Contoh Pengecoran	54
Gambar 4. 1	Denah Pembalokan.....	57
Gambar 4. 2	Pelat Tipe A (240 cm x 720 cm).....	75
Gambar 4. 3	Potongan Pelat.....	76
Gambar 4. 4	Posisi Titik Angkat Pelat (8 buah titik angkat)	81
Gambar 4. 5	Diagram Gaya Geser Horizontal Penampang Komposit	91
Gambar 4. 6	Posisi Titik Angkat Pelat (8 buah titik angkat)	94
Gambar 4. 7	Momen Pengangkatan Pelat Arah i.....	95
Gambar 4. 8	Momen Pengangkatan Pelat Arah j.....	95
Gambar 4. 9	Pengangkuran Tulangan Angkat Pelat Pracetak ...	97
Gambar 4. 10	Posisi Titik Angkat Pelat Pracetak	99
Gambar 4. 11	(a) Dimensi Balok Anak Sebelum Komposit, ...	115
Gambar 4. 12	Distribusi Beban pada Balok Anak 30/50	116
Gambar 4. 13	Momen Saat Pengangkatan Balok Anak.....	121
Gambar 4. 14	Letak Titik Pengangkatan Balok Anak	123
Gambar 4. 15	Letak Titik Pengangkatan	139
Gambar 4. 16	Pengangkuran Tulangan Angkat Pelat Pracetak	140
Gambar 4. 17	Momen Saat Pengangkatan Balok Induk	141
Gambar 4. 18	Letak Titik Pengangkatan	143
Gambar 4. 19	Perencanaan Tangga Tampak Atas	154
Gambar 4. 20	Potongan Tangga.....	155
Gambar 4. 21	Dimensi Injakan dan Tanjakan Anak Tangga ...	155
Gambar 4. 22	Sketsa Beban Pada Tangga	157
Gambar 4. 23	Permodelan Pelat Tangga dan Pelat Bordes pada SAP 2000 v14	158
Gambar 4. 24	Momen Maksimum Pelat Tangga pada SAP 2000 v14	159
Gambar 4. 25	Momen Maksimum Pelat Bordes pada SAP 2000 v14	159

Gambar 4. 26	Denah Lift	173
Gambar 4. 27	Permodelan 3D Struktur Utama.....	188
Gambar 4. 28	Ilustrasi Arah Beban Angin.....	190
Gambar 4. 29	Data Kecepatan Angin Wilayah Kota Surabaya.....	191
Gambar 4. 30	Koefisien Tekanan Eksternal	195
Gambar 4. 31	Peta untuk Menentuka Harga S_s	199
Gambar 4. 32	Peta untuk Menentukan Harga S_1	199
Gambar 4. 33	Grafik Respon Spectrum Daerah Surabaya.....	201
Gambar 4. 34	Input Analisa Modal di SAP 2000 v.14	204
Gambar 4. 35	Input Faktor Skala Gaya pada Arah X	205
Gambar 4. 36	Input Faktor Skala Gaya pada Arah Y	205
Gambar 4. 37	Detail Pembalokan	228
Gambar 4. 38	Pembebanan Balok Induk Sebelum Komposit..	231
Gambar 4. 39	Pembebanan Balok Induk Sebelum Komposit..	234
Gambar 4. 40	Momen Saat Pengangkatan Balok Induk	240
Gambar 4. 41	Denah Pembalokan	246
Gambar 4. 42	Diagram Momen Tumpuan Kiri pada Balok Induk	246
Gambar 4. 43	Diagram Momen Tumpuan Kanan pada Balok Induk.....	246
Gambar 4. 44	Diagram Momen Lapangan pada Balok Induk ..	247
Gambar 4. 45	Diagram Geser pada Balok Induk	247
Gambar 4. 46	Diagram Aksial pada Balok Induk.....	247
Gambar 4. 47	Diagram Torsi pada Balok Induk.....	247
Gambar 4. 48	Tinggi Efektif Balok	248
Gambar 4. 49	Luasan A_{cp} dan P_{cp}	261
Gambar 4. 50	Sketsa Lokasi Penampang Momen yang Ditinjau	273
Gambar 4. 51	Luas Tributary Area untuk Menghitung Pembebanan Balok Induk B1	275
Gambar 4. 52	Letak Titik Pengangkatan	280
Gambar 4. 53	Pengangkuran Tulangan Angkat Pelat Pracetak.....	281
Gambar 4. 54	Momen Saat Pengangkatan Balok Induk	282
Gambar 4. 55	Letak Titik Pengangkatan	284
Gambar 4. 56	Kolom yang Ditinjau dalam Perhitungan.....	293

Gambar 4. 57	Gaya Aksial yang Didapatkan dari SAP 2000 v14	294
Gambar 4. 58	Gaya Torsi yang Didapatkan dari SAP 2000 v14	294
Gambar 4. 59	Gaya Mx yang Didapatkan dari SAP 2000 v14	295
Gambar 4. 60	Gaya My yang Didapatkan dari SAP 2000 v14	295
Gambar 4. 61	Gaya Geser yang Didapatkan dari SAP 2000 v14	295
Gambar 4. 62	Diagram Interaksi Aksial Vs Momen Kolom ...	297
Gambar 4. 63	Konfigurasi Penulangan Kolom pada Program PCACOL.....	297
Gambar 4. 64	Ilustrasi Kuat Momen yang Bertemu di HBK...	299
Gambar 4. 65	Gaya Aksial yang Terjadi pada Kolom Atas.....	300
Gambar 4. 66	Output Diagram Interaksi P-M Kolom Desain Bawah	300
Gambar 4. 67	Output Diagram Interaksi P-M Kolom Desain Atas	300
Gambar 4. 68	Gaya Geser yang Didapatkan dari SAP 2000 v14	302
Gambar 4. 69	Panjang Tumpuan pada Tumpuan.....	310
Gambar 4. 70	Mekanisme Pemindahan Beban	311
Gambar 4. 71	Model Keruntuhan	313
Gambar 4. 72	Model Sambungan Balok pada Konsol Kolom.	313
Gambar 4. 73	Geometrik Konsol Pendek	315
Gambar 4. 74	Gaya Geser Balok Induk	317
Gambar 4. 75	Rencana Tulangan pada Balok Induk.....	323
Gambar 4. 76	Detail Batang Tulangan Dengan Kait Standar ..	328
Gambar 4. 77	Panjang Penyaluran Balok Induk	329
Gambar 4. 78	Jarak Angkur pada Konsol Kolom	330
Gambar 4. 79	Gaya Geser Balok Anak.....	333
Gambar 4. 80	Rencana Tulangan pada Balok Anak	340
Gambar 4. 81	Detail batang tulangan dengan kait standar.....	344
Gambar 4. 82	Panjang Penyaluran Balok Anak.....	344
Gambar 4. 83	Jarak Angkur pada Konsol Kolom	345
Gambar 4. 84	Panjang Penyaluran Pelat.....	349

Gambar 4. 85	Diagram Alir Metode Pelaksanaan	352
Gambar 4. 86	Truck HINO model FL 235 JW	354
Gambar 4. 87	Spesifikasi Truck HINO model FL 235 JW.....	355
Gambar 4. 88	Rencana Lokasi <i>Storage Area</i> dan Mobilisasi Proyek.....	356
Gambar 4. 89	Rencana Penempatan Tower Crane	357
Gambar 4. 90	Perencanaan Penyangga pada Pemasangan Elemen Pracetak	358
Gambar 4. 91	Pemasangan Bekisting untuk Pembuatan Kolom	359
Gambar 4. 92	Ilustrasi Pekerjaan Kolom.....	360
Gambar 4. 93	Ilustrasi Pemasangan Coupler Tipe <i>The SimGrip™</i> <i>LT System</i>	361
Gambar 4. 94	Pemasangan Balok Induk Pracetak	362
Gambar 4. 95	Ilustrasi Pemasangan Balok Induk Pracetak	363
Gambar 4. 96	Pemasangan Balok Anak Pracetak.....	363
Gambar 4. 97	Ilustrasi Pemasangan Balok Anak Pracetak.....	364
Gambar 4. 98	Pemasangan Tulangan Atas	365
Gambar 4. 99	Perencanaan Penyangga pada Pemasangan Pelat Pracetak	366
Gambar 4. 100	Ilustrasi Pemasangan Pelat Lantai Pracetak....	366
Gambar 4. 101	Ilustrasi Pengecoran <i>Overtopping</i>	367
Gambar 4. 102	Metode Pelaksanaan Section A.....	368
Gambar 4. 103	Alur Metode Pelaksanaan Section A	369

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BAB I

PENDAHULUAN

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi konstruksi di Indonesia mendorong adanya inovasi dalam berbagai metode konstruksi pada bidang ketekniksipilan. Inovasi tersebut tidak hanya dalam segi kekuatan dan kestabilan struktur, namun juga harus memperhatikan segi ekonomis, praktis, dan ketepatan waktu. Seperti halnya pemakaian metode beton pracetak (*precast*) dalam perencanaan struktur suatu gedung yang merupakan salah satu alternatif untuk mencapai hal tersebut.

Metode beton pracetak (*precast*) adalah teknologi konstruksi struktur beton dengan komponen-komponen yang dicetak terlebih dahulu pada suatu tempat khusus (*fabrication*) dan selanjutnya dipasang di lokasi proyek (*installation*). Pemakaian metode beton pracetak (*precast*) memiliki beberapa kelebihan dibandingkan metode konvensional. Kelebihan tersebut meliputi waktu pengerjaan yang relatif singkat, proses produksinya tidak tergantung cuaca, tidak memerlukan tempat penyimpanan material yang luas, kontrol kualitas beton lebih terjamin, hemat akan bekisting dan penopang bekisting, serta kemudahan dalam pelaksanaannya sehingga dapat mereduksi durasi proyek dan secara otomatis biaya yang dikeluarkan menjadi lebih kecil.

Pemakaian metode beton pracetak (*precast*) lebih tepat dan efisien apabila diterapkan pada kondisi tertentu, yaitu pada bangunan gedung yang memiliki bentuk yang sama di tiap lantai (tipikal) sehingga lebih mudah dalam pengerjaan dan pelaksanaannya. Selain itu metode beton pracetak (*precast*) juga digunakan pada bangunan yang berada di wilayah zona gempa rendah atau menengah. Hal ini dikarenakan sambungan struktur yang menggunakan beton pracetak (*precast*) belum dapat dijamin benar-benar kaku untuk menahan gaya gempa tinggi.

Pada proyek akhir terapan ini akan dilakukan modifikasi perencanaan gedung perkuliahan di Kota Surabaya (Gedung G

Universitas Muhammadiyah Surabaya) yang awalnya memakai metode konvensional menjadi metode beton pracetak (*precast*). Gedung akan direncanakan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan Utama:

Bagaimana merencanakan struktur bangunan dengan beton pracetak yang mampu menahan gaya gravitasi dan gaya lateral yang bekerja?

Detail Permasalahan:

1. Bagaimana merencanakan elemen beton pracetak (balok dan pelat) termasuk dalam hal pengangkatan dan pemasangan elemen beton pracetak?
2. Bagaimana merencanakan elemen beton bertulang konvensional (kolom)?
3. Bagaimana merencanakan sambungan antar elemen beton pracetak dan beton bertulang konvensional?
4. Bagaimana menuangkan hasil perencanaan ke dalam gambar rencana struktur?
5. Bagaimana membuat metode pelaksanaan pengerjaan elemen beton pracetak (balok dan pelat) dan beton bertulang konvensional (kolom)?

1.3 Tujuan

Tujuan Utama:

Merencanakan struktur bangunan dengan beton pracetak yang mampu menahan gaya gravitasi dan gaya lateral yang bekerja

Detail Tujuan:

1. Dapat merencanakan elemen beton pracetak (balok dan pelat) termasuk dalam hal pengangkatan, penumpukan, pemasangan, dan pengecoran elemen beton pracetak.

2. Dapat merencanakan elemen beton bertulang konvensional (kolom).
3. Dapat merencanakan sambungan antar elemen beton pracetak dan beton bertulang konvensional.
4. Dapat menuangkan hasil perencanaan ke dalam gambar rencana struktur.
5. Dapat membuat metode pelaksanaan pengerjaan beton pracetak (balok dan pelat) dan beton bertulang konvensional (kolom).

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan – batasan masalah yang diberikan dalam proyek akhir terapan ini adalah:

1. Beton pracetak yang digunakan adalah beton pracetak biasa (*non prestress*).
2. Komponen struktur yang direncanakan menggunakan beton pracetak hanya pelat dan balok.
3. Perencanaan kolom menggunakan beton bertulang konvensional.
4. Hanya memperhitungkan segi kekuatan struktur tanpa memperhitungkan aspek-aspek manajemen konstruksi dan arsitektural.
5. Perencanaan tidak termasuk sistem utilitas, kelistrikan dan sanitasi.
6. Gedung perkuliahan di Kota Surabaya (Gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya) direncanakan akan dibangun dengan tinggi 9 lantai.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari perencanaan struktur gedung menggunakan beton pracetak adalah:

1. Manfaat untuk masyarakat/pembaca:

Pembaca dapat mengetahui alternatif lain tata cara perencanaan gedung menggunakan beton pracetak yang mempunyai banyak kelebihan dibandingkan menggunakan beton konvensional.

2. Manfaat untuk penulis:

Penulis dapat lebih memahami tentang tata cara perencanaan struktur bangunan gedung menggunakan metode beton pracetak. Dan dapat merencanakan struktur elemen plat dan balok menggunakan metode pracetak sesuai peraturan berlaku. Serta menambah wawasan mengenai metode pelaksanaan elemen beton pracetak.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Sistem fabrikasi dalam pembuatan struktur beton bertulang dikenal dengan sistem pracetak. Definisi beton pracetak menurut SNI-2847-2013 adalah elemen struktur yang dicetak di tempat lain dari posisi akhirnya dalam struktur. Pada dasarnya beton pracetak tidaklah berbeda dengan beton biasa. Yang membedakan hanyalah pada metode fabrikasinya.

Sebagian besar dari elemen struktur pracetak diproduksi di tempat tertentu (fabrikasi) dilanjutkan dengan proses pengangkatan beton pracetak ke lokasi (transportasi). Komponen-komponen tersebut dipasang sesuai keberadaannya sebagai komponen struktur dari sistem struktur beton (ereksi).

2.2 Sistem Struktur Gedung

Ada beberapa sistem struktur yang biasa digunakan sebagai penahan gaya gempa pada gedung akan tetapi pada sub bab ini hanya dijelaskan yang berkaitan dengan topik penulis ambil antara lain:

2.2.1 Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul momen adalah sistem struktur yang memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur.

2.2.1.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Membangun di wilayah resiko gempa tinggi, yang masuk wilayah gempa 5 dan 6, dan untuk memikul gaya-gaya akibat gempa harus menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) atau sistem dinding struktur khusus (SDSK) atau sistem dual khusus. (Purwono, 2005)

Menurut SNI-1726-2012 pasal 3.53, tentang perencanaan bangunan terhadap gempa menyebutkan bahwa SRPMK merupakan sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur.

Persyaratan-persyaratan fundamental untuk SRPMK yang daktail adalah:

1. Sedapatnya menjaga keteraturan struktur
2. Cukup kuat menahan gempa normatif yang ditentukan berdasarkan kemampuan disipasi energi.
3. Cukup kaku untuk membatasi penyimpangan.
4. Hubungan balok kolom cukup kuat menahan rotasi yang terjadi
5. Komponen-komponen balok dan kolom mampu membentuk sendi plastis tanpa mengurangi kekuatannya yang berarti
6. Balok-balok mendahului terbentuknya sendi-sendi plastis yang tersebar diseluruh sistem struktur sebelum terjadi di kolom-kolom
7. Tidak ada kolom yang lebih lemah yang akan menyebabkan sendi-sendi plastis di ujung atas dan bawah pada kolom-kolom lain ditingkat itu yang menjurus pada keruntuhan seluruh struktur.

Konsep “*strong column weak beam*” dalam sistem rangka pemikul momen khusus mengandung arti bahwa konstruksi kolom yang ada harus lebih kaku dari pada balok, sehingga kerusakan struktur ketika terjadi beban lateral/gempa, terlebih dahulu terjadi pada balok, lalu kerusakan struktur terjadi pada kolom. Dengan kata lain, balok-balok mendahului pembentukan sendi-sendi plastis yang tersebar di seluruh sistem struktur sebelum terjadi di kolom-kolom.

2.3 Tinjauan Elemen Pracetak

Seperti yang telah dibahas pada sub-bab sebelumnya, pembuatan beton pracetak dilakukan di lokasi proyek ataupun di luar lokasi proyek seperti pabrik. Untuk itu, agar elemen pracetak

yang dibuat sesuai dengan yang direncanakan dan tidak mengalami kesulitan dalam proses fabrikasi, hendaknya perencana mengetahui macam-macam elemen struktur beton pracetak yang umum digunakan dan diproduksi saat ini.

2.3.1 Pelat

Pelat merupakan struktur tipis yang dibuat dari beton dengan bidang yang arahnya horizontal dan beban yang bekerja tegak lurus pada bidang struktur tersebut (Kalingga, 2015). Pada waktu pengangkutan pelat beton pracetak atau sebelum komposit, beban yang bekerja adalah berat sendiri pelat, sedangkan beban total yang diterima oleh pelat terjadi pada saat pelat sudah komposit.

Dalam *PCI Design Handbook 6th Edition Precast and Prestressed Concrete*, ada tiga macam pelat pracetak (*precast slab*) yang umum diproduksi dan digunakan sebagai elemen pracetak, antara lain:

1) Pelat Pracetak Berlubang (*Hollow Core Slab*)

Pelat ini merupakan pelat pracetak dimana ukuran tebal lebih besar dibanding dengan pelat pracetak tanpa lubang. Biasanya pelat tipe ini menggunakan kabel pratekan. Keuntungan dari pelat jenis ini adalah lebih ringan, tingkat durabilitas yang tinggi dan ketahanan terhadap api sangat tinggi. Pelat jenis ini memiliki lebar rata-rata 4 hingga 8 feet dan tebal rata-rata 4 inchi hingga 16 inchi.

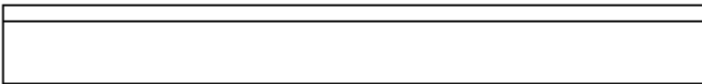


Gambar 2. 1 Pelat Pracetak Berlubang (*Hollow Core Slab*)
(Sumber: *PCI Design Handbook 6th Edition Precast and Prestressed Concrete*)

2) Pelat Pracetak tanpa Lubang (*Solid Slabs*)

Adalah pelat pracetak dimana tebal pelat lebih tipis dibandingkan dengan pelat lebih tipis dibandingkan dengan pelat pracetak dengan lubang. Keuntungan dari penggunaan pelat ini

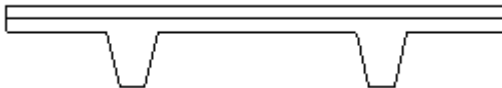
adalah mudah dalam penumpukan karena tidak memakan banyak tempat. Pelat ini bisa berupa pelat pratekan atau beton bertulang biasa dengan lebar rata-rata 4 hingga 8 feet dan tebal rata-rata 4 inchi hingga 8 inchi. Umumnya bentang dari pelat ini antara 10 hingga 35 feet. Pada perencanaan ini pelat yang digunakan adalah pelat pracetak tanpa lubang.



Gambar 2. 2 Pelat Pracetak Tanpa Lubang (*Solid Slab*)
(Sumber: *PCI Design Handbook 6th Edition Precast and Prestressed Concrete*)

3) Pelat Pracetak *Double Tee*

Pelat ini berbeda dengan pelat yang sudah dijelaskan sebelumnya. Pada pelat ini ada bagian berupa dua buah kaki sehingga tampak seperti dua T yang terhubung.



Gambar 2. 3 Pelat Pracetak *Double Tee*
(Sumber: *PCI Design Handbook 6th Edition Precast and Prestressed Concrete*)

2.3.2 Balok

Untuk balok pracetak (*Precast Beam*), ada tiga jenis balok yang sering atau umum digunakan, yaitu:

1) Balok berpenampang persegi (*Rectangular Beam*)

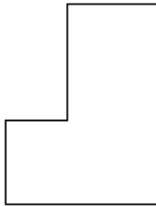
Keuntungan dari balok jenis ini adalah sewaktu fabrikasi lebih mudah dengan bekisting yang lebih ekonomis dan tidak perlu memperhitungkan tulangan akibat cor sewaktu pelaksanaan.



Gambar 2. 4 Balok Berpenampang Persegi (*Rectangular Beam*)

(Sumber: *PCI Design Handbook 6th Edition Precast and Prestressed Concrete*)

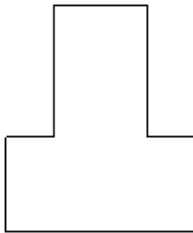
2) Balok berpenampang L (*Ledger Beam*)



Gambar 2. 5 Balok Berpenampang L (*Ledger Beam*)

(Sumber: *PCI Design Handbook 6th Edition Precast and Prestressed Concrete*)

3) Balok berpenampang T terbalik (*Inverted Tee Beam*)



Gambar 2. 6 Balok T Terbalik (*Inverted Tee Beam*)

(Sumber: *PCI Design Handbook 6th Edition Precast and Prestressed Concrete*)

2.3.3 Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka struktur yang memikul beban dari balok. Kolom merupakan suatu elemen struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya (*collapse*) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total (*total collapse*) seluruh struktur (Sudarmoko, 1996).

Dalam perencanaan proyek akhir terapan ini tidak mengaplikasikan kolom pracetak namun menggunakan kolom cor di tempat (metode konvensional) yang menggunakan pengikat sengkang lateral. Kolom ini merupakan kolom beton yang memiliki tulangan pokok memanjang (tulangan longitudinal), yang pada jarak tertentu diikat dengan pengikat sengkang ke arah lateral (tulangan transversal). Tulangan ini berfungsi untuk memegang tulangan pokok memanjang agar tetap kokoh pada tempatnya.

2.4 Perencanaan Sambungan

Proses penyatuan komponen-komponen struktur beton pracetak menjadi sebuah struktur bangunan yang monolit merupakan hal yang penting dalam pengaplikasian teknologi beton pracetak. Oleh karena itu, perencanaan sambungan harus diperhatikan dengan seksama sehingga tidak menyulitkan pada saat pelaksanaan.

Dalam teknologi beton pracetak, terdapat 3 (tiga) macam sambungan yang umum digunakan. Sambungan tersebut antara lain, sambungan dengan cor di tempat (*in situ concrete joint*), sambungan dengan menggunakan las dan sambungan dengan menggunakan baut. Masing-masing dari jenis sambungan tersebut memiliki karakteristik serta kekurangan dan kelebihan sendiri-sendiri yang disajikan dalam tabel 2.1 berikut ini:

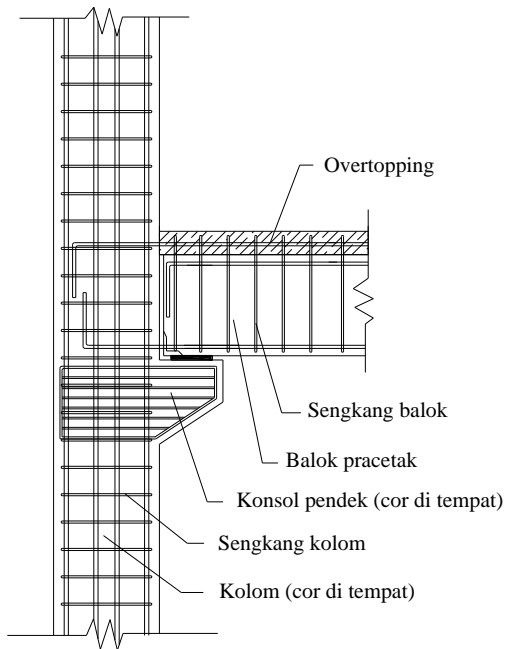
Tabel 2. 1 Perbedaan Metode Penyambungan

Deskripsi	Sambungan dengan cor setempat	Sambungan dengan las/baut
Kebutuhan struktur	Monolit	Tidak monolit
Jenis sambungan	Basah	Kering
Toleransi dimensi	Lebih tinggi	Tergolong rendah, karena dibutuhkan akurasi yang tinggi
Kebutuhan waktu agar berfungsi secara efektif	Perlu setting time	Segera dapat berfungsi
Ketinggian bangunan	-	Maksimal 25 meter

(Sumber: Ervianto, 2006)

2.4.1 Sambungan Dengan Cor Setempat

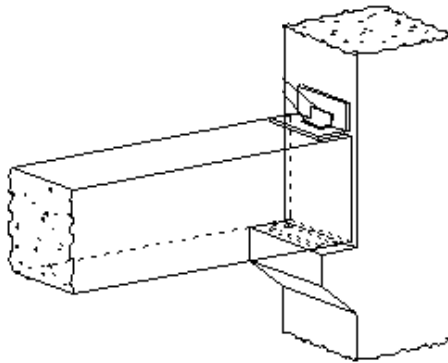
Sambungan ini merupakan sambungan dengan menggunakan tulangan biasa sebagai penyambung/penghubung antar elemen beton baik antar pracetak ataupun antara pracetak dengan cor ditempat. Elemen pracetak yang sudah berada di tempatnya akan dicor bagian ujungnya untuk menyambungkan elemen satu dengan yang lain agar menjadi satu kesatuan yang monolit seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7. Sambungan jenis ini disebut dengan sambungan basah. Sambungan jenis ini sering diterapkan dalam pelaksanaan konstruksi, karena tergolong mudah dalam pelaksanaannya. Selain itu sambungan ini dapat membuat bangunan menjadi lebih kaku dibanding menggunakan sambungan jenis lain. Dalam proyek akhir terapan ini akan direncanakan menggunakan sambungan cor setempat.



Gambar 2. 7 Sambungan dengan Cor Setempat
(Sumber: Kalingga, 2015)

2.4.2 Sambungan Las

Alat sambung jenis ini menggunakan plat baja yang ditanam dalam beton pracetak yang akan disambung. Kedua pelat ini selanjutnya disambung atau disatukan dengan bantuan las seperti gambar 2.8. Melalui pelat baja inilah gaya-gaya yang akan diteruskan ke komponen yang terkait. Setelah pekerjaan pengelasan, dilanjutkan dengan menutup pelat sambung tersebut dengan adukan beton yang bertujuan untuk melindungi pelat dari korosi.

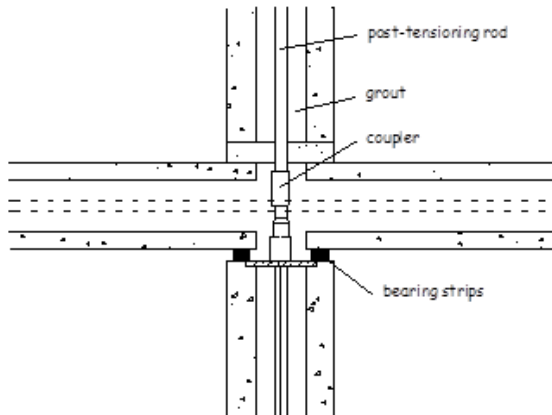


Gambar 2. 8 Sambungan dengan Las
(Sumber: Kalingga, 2015)

Umumnya, pada pertemuan balok dan kolom, ujung balok di dukung oleh *corbels* atau biasa disebut dengan konsol yang menjadi satu dengan kolom. Penyatuan antara dua komponen tersebut menggunakan las yang dilaksanakan pada pelat baja yang tertanam dengan balok dengan pelat baja yang telah disiapkan pada sisi kolom.

2.4.3 Sambungan Baut

Penyambungan cara ini diperlukan pelat baja dikedua elemen beton pracetak yang akan disatukan. Kedua komponen tersebut disatukan melalui pelat tersebut dengan alat sambung berupa baut dengan kuat tarik tinggi. Selanjutnya pelat sambung tersebut dicor dengan adukan beton, guna melindungi dari korosi.



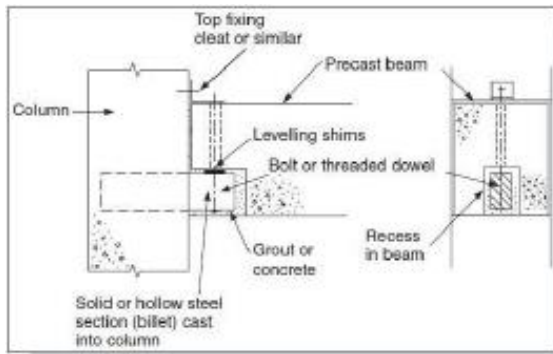
Gambar 2. 9 Sambungan dengan Menggunakan Baut
(Sumber: Kalingga, 2015)

2.5 Jenis Sambungan Balok ke Kolom

Sambungan balok ke kolom adalah sambungan yang paling penting dalam struktur rangka pracetak. Jenis sambungan ini membutuhkan tidak sedikit pemikiran dalam spesifikasi, desain, dan konstruksinya salah satunya pada jenis sambungan yang disembunyikan di dalam balok. Dalam perencanaan sambungan ini harus mengikuti sifat dari balok pada saat mengalami lentur, yaitu dengan cara mengontrol defleksi yang terjadi, syarat stabilitas kolom dalam rangka dan kapasitas tekuk kolom.

2.5.1 Sambungan Billet

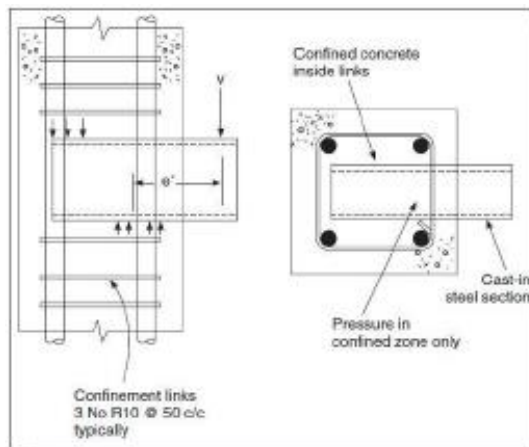
Tipe sambungan ini termasuk sambungan tersembunyi, karena posisinya di dalam balok. Sambungan ini baik untuk peruntukan bangunan yang membutuhkan estetika yang tinggi karena letaknya yang tidak kasat mata. Sambungan ini menggunakan besi ulir atau baut yang dimasukkan melewati lubang yang telah dibuat antara balok dan *billet*. Bagian yang kosong di sekitar *billet* akan ditutup dengan *grouting*. Berikut gambar sambungan *billet*.



Gambar 2. 10 Sambungan Billet

2.5.2 Sambungan Pelat

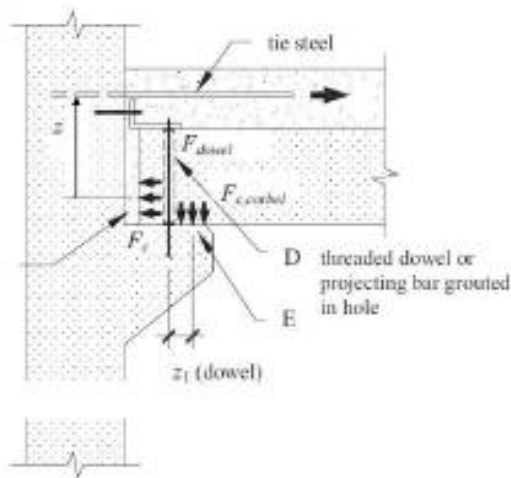
Sambungan pelat adalah nama sambungan dengan cara memasukan pelat tipis ke dalam kolom untuk mentransfer gaya geser, dan aksial terkadang gaya lendutan dan torsi yang terjadi pada kolom. Pelat yang dimasukan bisa solid, tabung atau cor di tempat, lebar minimum yang disyaratkan yaitu 50 mm serta ketebalan baja yang disyaratkan yaitu 6 mm. Gambar menunjukkan contoh sambungan pelat.



Gambar 2. 11 Sambungan Pelat

2.5.3 Sambungan Beton Corbel

Sambungan ini adalah salah satu proyeksi dari kantilever dengan bentang pendek, terletak pada muka kolom dan menjadi pendukung elemen pracetak horizontal di atasnya. Sambungan ini digunakan ketika hal terkait estetika sambungan tidak diutamakan. Jarak efektif pembebanan pada beton corbel yaitu $a_v < 0.6d$. Tebal muka *corbel* tidak boleh lebih setengah dari lebar bagian samping *corbel*. Tebal *corbel* minimal harus 500 mm. Gambar menunjukkan contoh sambungan beton *corbel*.



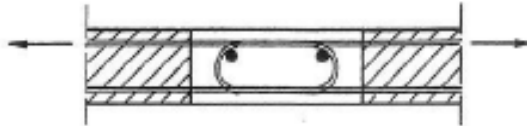
Gambar 2. 12 Sambungan Corbel

2.6 Jenis Sambungan Pelat ke Pelat

2.6.1 Sambungan Loop

Sambungan *loop* dapat digunakan untuk menyalurkan gaya tarik, lendutan dan momen. Ini biasanya digunakan pada plat solid yang membutuhkan penerusan, walaupun, dalam praktiknya tipe sambungan ini sulit dalam hal pengerjaannya. Kegagalan sambungan dapat terjadi dikarenakan beberapa hal seperti pecahnya tulangan, hancurnya beton di *joint*, dan pemisahan beton di daerah sambungan *loop*. Pendesain bertujuan untuk mencegah

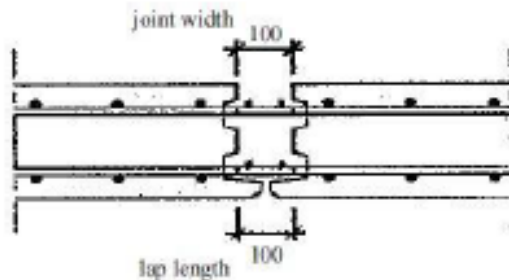
hancurnya beton sebelum kegagalan pada tulangan, dengan desain yang baik maka akan membuat elemen yang di sampung oleh tipe sambungan ini menjadi lebih daktail. Sambungan dapat di desain dengan cara model topagan dan ikatan. Berikut ini contoh gambar sambungan *loop*.



Gambar 2. 13 Sambungan Loop

2.6.2 Sambungan Menerus

Sambungan menerus adalah ketika dua tulangan saling meneruskan untuk membuat tulangan menjadi satu garis. Panjang dari tulangan yang diteruskan tergantung dari ukuran, kuat beton, dan spasinya. desain sambungan berdasarkan prinsip kesetimbangan daktilitas. *Joint* pada sambungan di asumsikan sebagai komponen yang mudah rapuh sehingga harus diberikan kapasitas yang cukup untuk meamastikan bahwa lentur atau tarik yang menyebabkan keretakan tidak terjadi di *joint* melainkan di elemen sambungan betonnya., di mana daktilitas dapat di dapat dengan tulangan biasa. Berikut contoh gambar sambungan menerus.



Gambar 2. 14 Sambungan Menerus

2.7 Titik-Titik Angkat dan Sokongan

2.7.1 Pengangkatan Pelat Pracetak

Pemasangan pelat pracetak harus diperhatikan bahwa pelat akan mengalami pengangkatan sehingga perlu perencanaan terhadap tulangan angkat untuk pelat dengan tujuan untuk menghindari tegangan yang disebabkan oleh fleksibilitas dari truk pengangkut dalam perjalanan menuju lokasi proyek. Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya momen-momen pada elemen pracetak. Pada saat pengangkatan elemen pracetak, dapat menggunakan bantuan balok angkat yang berfungsi untuk menyeimbangkan elemen pracetak pada saat pengangkatan. Jenis titik angkat pada pelat tersebut dijelaskan berikut ini:

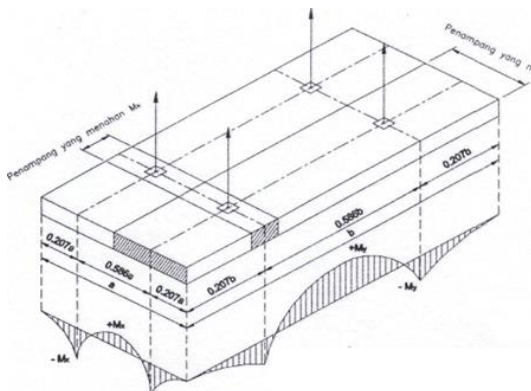
a. Empat Titik Angkat

Maksimum Momen (pendekatan):

$$+M_x = -M_y = 0,0107 w a^2 b$$

$$+M_y = -M_x = 0,0107 w a b^2$$

- M_x ditahan oleh penampang dengan lebar yang terkecil dari $15t$ atau $b/2$
- M_y ditahan oleh penampang dengan lebar $a/2$



Gambar 2. 15 Posisi Titik Angkat Pelat (4 buah titik angkat)

(Sumber: *PCI Design Handbook 6th Edition Precast and Prestressed Concrete*)

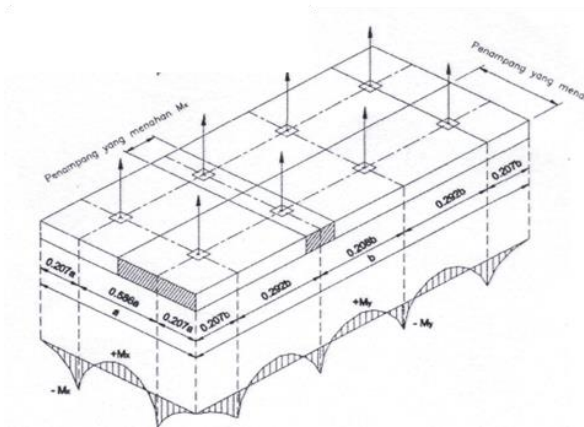
b. Delapan Titik Angkat

Maksimum Momen (pendekatan):

$$+M_x = -M_y = 0,0054 w a^2 b$$

$$+M_y = -M_x = 0,0027 w a b^2$$

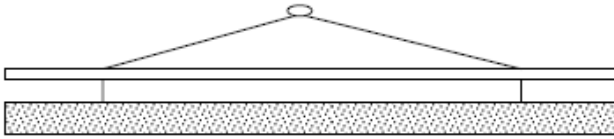
- M_x ditahan oleh penampang dengan lebar yang terkecil dari $15t$ atau $b/4$
- M_y ditahan oleh penampang dengan lebar $a/2$



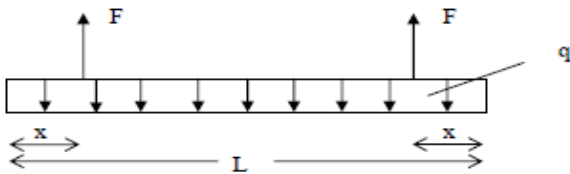
Gambar 2. 16 Posisi Titik Angkat Pelat (8 buah titik angkat)
(Sumber: *PCI Design Handbook 6th Edition Precast and Prestressed Concrete*)

2.7.2 Pengangkatan Balok Pracetak

Kondisi pertama adalah saat pengangkatan balok pracetak untuk dipasang pada tumpuannya. Pada kondisi ini beban yang bekerja adalah berat sendiri balok pracetak yang ditumpu oleh angkur pengangkatan yang menyebabkan terjadinya momen pada tengah bentang dan pada tumpuan. Ada dua hal yang harus ditinjau dalam kondisi ini, yaitu kekuatan angkur pengangkatan (*lifting anchor*) dan kekuatan lentur penampang beton pracetak.

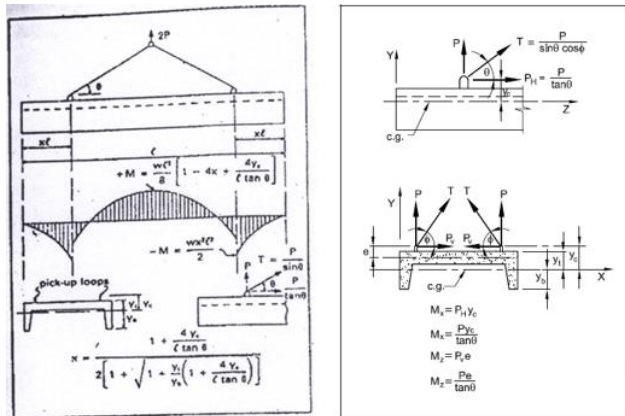


Gambar 2. 17 Pengangkatan Balok Pracetak
(Sumber: Kalingga, 2015)



Gambar 2. 18 Model Pembebanan Balok Pracetak Saat
Pengangkatan
(Sumber: Kalingga, 2015)

Balok pracetak harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses pengangkatan. Titik pengangkatan dan kekuatan tulangan angkat harus menjamin keamanan elemen balok dari kerusakan. Titik pengangkatan balok dapat dilihat pada Gambar 2.19 sebagai berikut:



Gambar 2. 19 Titik-Titik Angkat dan Sokongan Sementara untuk Produk Pracetak Balok
(Sumber: *PCI Design Handbook, Precast and Prestress Concrete 6th Edition*, gambar 5.3.2.2)

Pada waktu proses pengangkatan balok pracetak diperlukan perhitungan gaya pengangkatan yang terjadi akibat berat sendiri balok. Kemudian gaya yang terjadi tersebut dikalikan dengan angka pengali beban statis ekuivalen yang terdapat pada Tabel 2.2 guna menghindari kerusakan pada balok pada waktu proses pengangkatan tersebut.

Tabel 2. 2 Angka Pengali Beban Statis Ekuivalen untuk Menghitung Gaya Pengangkatan Dan Gaya Dinamis

Pengangkatan dari bekisting	1,7
Pengangkatan ke tempat penyimpanan	1,2
Transportasi	1,5
Pemasangan	1,2

(*PCI Design Handbook, Precast and Prestress Concrete Fourth Edition, 1992, table 5.2.1.*)

2.8 Tinjauan Penanganan Elemen Pracetak

2.8.1 Fase-Fase Penanganan Produk Pracetak

Sebelum digunakan produk pracetak mengalami fase-fase perlakuan yang meliputi:

1. Pengangkatan dari bekisting modul (*stripping*)
 - a. Orientasi produk apakah horisontal, vertikal, atau membetuk sudut
 - b. Lekatan permukaan beton dengan bekisting dan kejut, lihat tabel
 - c. Jumlah dan lokasi peralatan angkat
 - d. Berat produk pracetak dan beban-beban tambahan, seperti bekisting yang
 - e. terbawa saat produk diangkat
2. Penempatan ke lokasi penyimpanan (*yard handling and storage*)
 - a. Orientasi produk apakah horisontal, vertikal, atau membetuk sudut
 - b. Lokasi titik-titik angkat sementara
 - c. Lokasi sokongan sehubungan dengan produk-produk lain yang juga disimpan
 - d. Perlindungan dari sinar matahari langsung
3. Transportasi ke lokasi (*transportation to the job site*)
 - a. Orientasi produk apakah horisontal, vertikal, atau membetuk sudut
 - b. Lokasi sokongan vertikal maupun horisontal
 - c. Kondisi kendaraan pengangkut, jalan, dan batas-batas berat muatan dari jalan yang akan dilalui
 - d. Pertimbangan dinamis saat transportasi
4. Pemasangan (*erection*)
 - a. Orientasi produk apakah horisontal, vertikal, atau membetuk sudut
 - b. Lokasi dan jumlah titik-titik angkat
 - c. Lokasi dan jumlah titik-titik sokongan

Beban sementara, seperti pekerja, peralatan selama pekerjaan, dan berat beton *overtopping*.

2.9 Studi (Tugas Akhir Terapan) Terdahulu

2.9.1 Tugas Akhir 1 (Syiafuddin, 2016)

Menurut Syaifuddin, dalam Tugas Akhir dengan judul “Modifikasi Perencanaan Gedung Tower C Apartemen Aspen Admiralty Jakarta Selatan dengan Metode Beton Pracetak (*Precast*)” Tahun 2017. Komponen pracetak disambung dengan menggunakan sambungan basah dan konsol pendek agar bangunan tersebut menjadi bangunan pracetak yang monolit. (Syaifuddin, 2016)

2.9.2 Tugas Akhir 2 (Faizi, 2017)

Menurut Faizi, dalam Tugas Akhir dengan judul “Desain Modifikasi Perencanaan Rumah Sakit Kidney Centre Menggunakan Metode Pracetak” Tahun 2017. Penyambungan tiap elemen struktur disambung menggunakan sambungan basah dan konsol pendek pada sambungan balok dan kolom. Untuk elemen plat-plat menggunakan sambungan *lap splices*, sedangkan sambungan balok anak – balok induk menggunakan angkur. (Faizi, 2017)

Dalam perencanaan metode pracetak pada gedung rumah sakit 8 lantai yang masuk kategori resiko D (gempa tinggi) perencanaan SRPMK, desain sambungan pracetak menjadi salah satu hal yang menjadi tinjauan khusus. Menggunakan sambungan menerus pada joint balok kolom serta coupler untuk sambungan menkani, dapat menjadi salah satu pilihan tepat untuk memenuhi syarat sambungan SRPMK. (Faizi, 2017)

Dalam pengerjaan tugas akhir terapan ini digunakan balok inverted T beam sebagai balok induk. Sayap pada inverted T Beam digunakan sebagai penumpu balok anak pracetak. Namun, dapat juga digunakan balok induk kotak dengan kosol setempat sebagai penumpu balok anak. Hal ini dapat dipilih untuk menekan anggaran biaya pembuatan. (Faizi, 2017)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



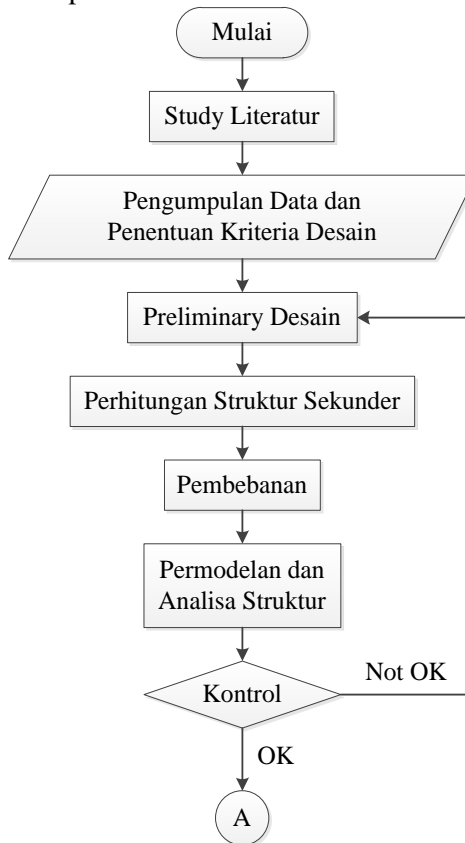
BAB III

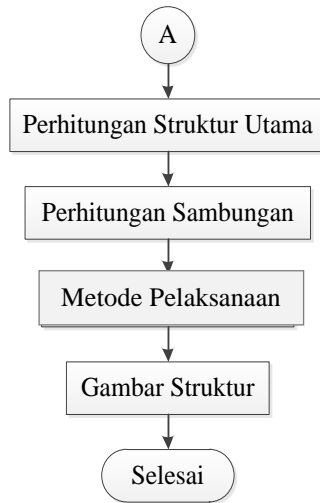
METODOLOGI

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

Metodologi ini akan menguraikan dan menjelaskan cara dan urutan pelaksanaan penyelesaian tugas akhir. Mulai dari studi literatur, pengumpulan data dan penentuan kriteria desain, *preliminary design*, permodelan struktur dan pembebanan, analisa dan perhitungan elemen struktur, perencanaan sambungan, lalu output berupa gambar teknik sampai dengan kesimpulan akhir dari proyek akhir terapan ini.





Gambar 3. 1 Diagram Alir Metode Penyelesaian Proyek Akhir Terapan

Langkah-langkah metode penyelesaian pada diagram alir.

Berdasarkan diagram alir yang terdapat pada Gambar 3.1 dapat dijelaskan secara lebih detail sebagai berikut:

3.1 Data Perencanaan

Data-data perencanaan secara keseluruhan mencakup data umum bangunan, data bahan dan data tanah.

1. Data Umum Bangunan:

- Nama gedung : Gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya
- Lokasi : Jl. Sutorejo No. 59, Sukolilo, Surabaya
- Tipe bangunan : Fasilitas pendidikan
- Jumlah lantai : 7 lantai
- Tinggi bangunan : $\pm 31,99$ meter
- Struktur bangunan : Beton bertulang konvensional

2. Data Gambar:

- Data Struktur : (Terlampir)
- Data arsitektur : (Terlampir)

Bangunan gedung tersebut akan dimodifikasi menggunakan metode beton pracetak dan data bangunan yang direncanakan sebagai berikut:

1. Data Umum Bangunan:

- Nama gedung : Gedung G Universitas Muhammadiyah
- Lokasi : Kota Surabaya
- Tipe bangunan : Fasilitas pendidikan
- Jumlah lantai : 9 lantai
- Tinggi bangunan : $\pm 33,60$ meter
- Struktur bangunan : Beton pracetak

2. Data Material:

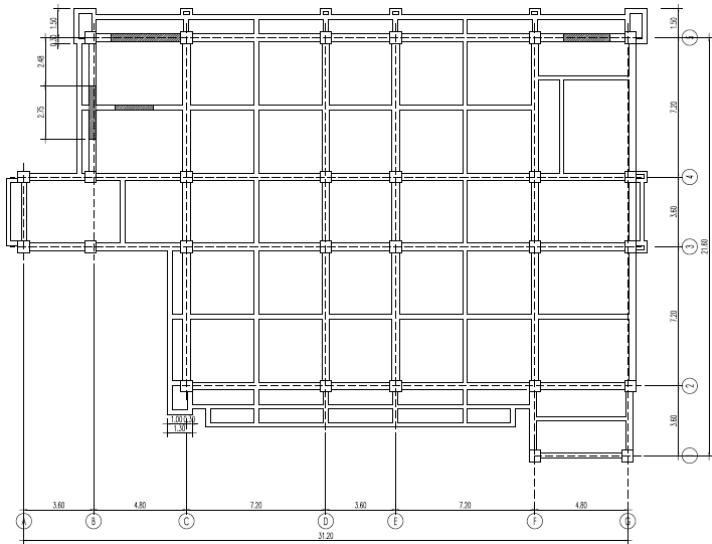
- Mutu beton ($f'c$) : 35 Mpa
- Mutu Baja (f_y) : 400 Mpa
- Data tanah : (Terlampir)

3. Data Gambar:

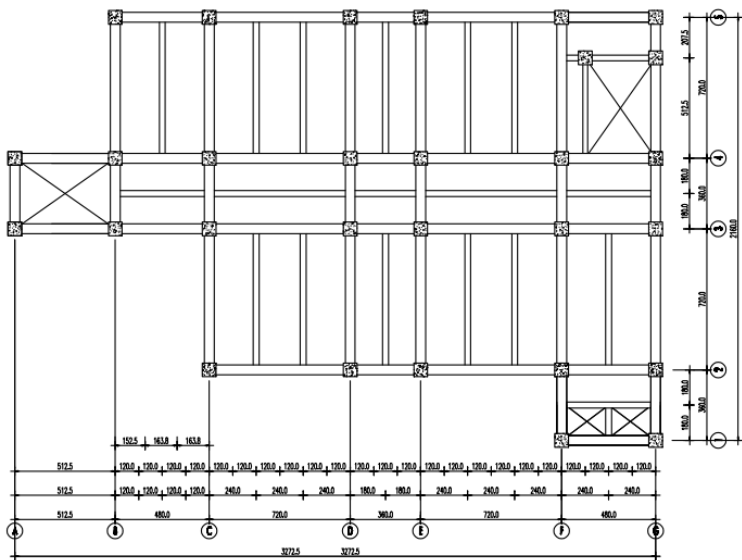
- Data Struktur : (Terlampir)
- Data arsitektur : (Terlampir)

Table 3. 1 Perbandingan Bangunan Eksisting dan Modifikasi

No	Keterangan	Eksisting	Modifikasi
1.	Sistem Struktur	Sistem Rangka Pemikul Momen	Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus
2.	Jumlah Lantai	7 Lantai	9 Lantai
3.	Tinggi Bangunan	$\pm 31,99$ meter	$\pm 33,60$ meter
4.	Total Luas Area	$\pm 590 \text{ m}^2$	$\pm 590 \text{ m}^2$
5.	Jenis Atap	Rangka Baja	Dak Beton
6.	Metode Cor	Cor In situ	Precast (Balok & Pelat)



Gambar 3. 2 Denah Lantai Eksisting



Gambar 3. 3 Denah Lantai Modifikasi

3.2 Penentuan Kriteria Desain

Struktur dengan kategori resiko I, II, atau III yang berlokasi di mana parameter respon spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S_1 , lebih besar atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori resiko IV yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada perioda 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F.

Bangunan ini direncanakan akan dibangun di Surabaya Timur dengan kelas situs SE (tanah lunak). Berdasarkan aplikasi respon spektral dari puskim.pu.go.id mempunyai parameter kecepatan respon spektral pada perioda pendek, $S_{DS} = 0,607$ dan parameter percepatan respon spektral pada perioda 1 detik, $S_{DI} = 0,496$. Berdasarkan tabel 3.2 dan tabel 3.3 maka didapat Surabaya Timur mempunyai kategori desain seismik D.

Table 3. 2 Persentase Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Table 3. 3 Persentase Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik

Nilai S_{DI}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DI} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{DI} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{DI} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{DI}$	D	D

Sistem yang dipilih harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian. Berdasarkan tabel 9 SNI 1726 2012 didapatkan bahwa kriteria desain yang tepat sesuai dengan kategori desain seismik yang ada adalah sebagai sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK).

3.3 Preliminary Design

Pada *preliminary design* ini akan menentukan dimensi elemen struktur gedung untuk digunakan dalam tahap perancangan selanjutnya.

3.3.1 Perencanaan Dimensi Kolom

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.2 aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur untuk komponen struktur dengan tulangan sengkang biasa, maka faktor reduksi $\phi = 0,65$.

$$A = \frac{W}{\phi \times f_c'} \quad (3-1)$$

Dimana, W = Beban aksial yang diterima kolom
 f_c' = Kuat tekan beton karakteristik
 A = Luas penampang kolom

3.3.2 Perencanaan Dimensi Balok Induk

Tabel minimum balok non-prategang apabila nilai lendutan tidak dihitung dapat dilihat pada SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.1 tabel 9.5(a). Nilai pada tabel tersebut berlaku apabila digunakan langsung untuk komponen struktur beton normal dan tulangan dengan mutu 420 MPa.

$$h_{\min} = \frac{L}{16} \quad \text{digunakan apabila } f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$h_{\min} = \frac{L}{16} \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right) \quad \text{digunakan untuk } f_y \text{ selain } 420 \text{ Mpa}$$

$$h_{\min} = \frac{L}{16} (1,65 - 0,003w_c) \quad \text{digunakan untuk nilai } w_c \text{ 1440}$$

sampai 1840 kg/m³

Dimana:

b = Lebar balok

h = Tinggi balok

L = Panjang balok

3.3.3 Perencanaan Dimensi Pelat

Dalam menentukan dimensi pelat langkah-langkah perhitungan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan terlebih dahulu apakah pelat tergolong pelat satu arah (*One-way slab*) atau pelat dua arah (*two-way slab*).
2. Tebal minimum pelat satu arah (*One-way slab*) menggunakan rumus sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.2.1 (tabel 9.5(a)). Sedangkan untuk pelat dua arah menggunakan rumus sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.1
3. Dimensi pelat minimum dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi:
 - a) Untuk α_m yang sama atau lebih kecil dari 0,2 harus menggunakan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.2
 1. Tebal pelat tanpa penebalan 120 mm
 2. Tebal pelat dengan penebalan 100 mm
 - b) Untuk α_m lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0, ketebalan pelat minimum harus memenuhi :

$$h = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta (\alpha_m - 0,2)} \quad (3-2)$$

(SNI 03-2847-2013, persamaan 9-12)

dan tidak boleh kurang dari 125 mm.

- c) Untuk α_m lebih besar dari 2,0, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \quad (3-3)$$

(SNI 03-2847-2013, persamaan 9-13)

dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

dimana:

β = rasio dimensi panjang terhadap pendek

α_m = nilai rata - rata dari α_f untuk semua balok pada tepi dari suatu panel

3.4 Perhitungan Struktur Sekunder

3.4.1 Perencanaan Pelat

Pada perencanaan pelat lantai, terdapat perhitungan tulangan lentur pelat dan perhitungan tulangan susut.

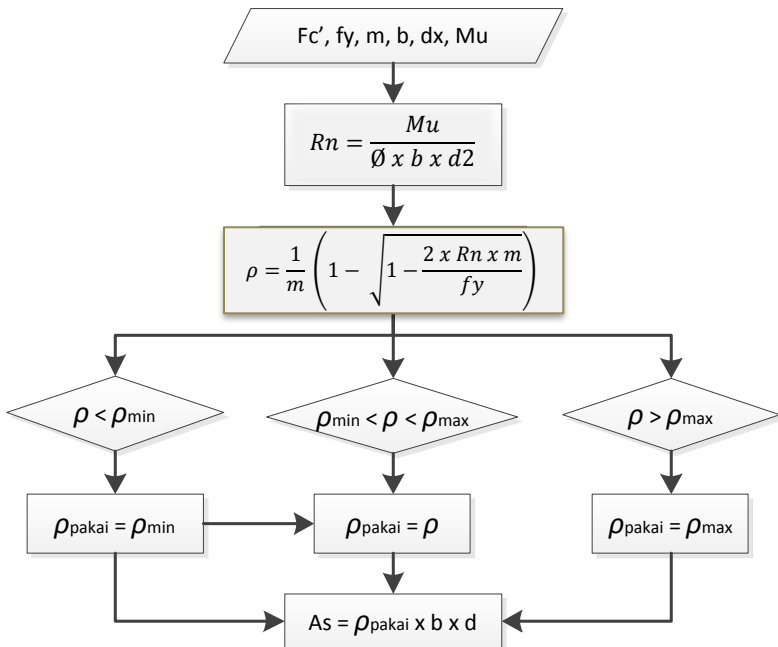
3.4.1.1 Perhitungan Tulangan Lentur Pelat

Perhitungan kebutuhan tulangan lentur pelat dihitung sesuai dengan peraturan SNI 2847:2013 yang meliputi 3 kondisi, yaitu, saat pengangkatan, sebelum komposit, dan setelah komposit. Perumusan yang digunakan adalah:

$$\phi M_n = \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{1}{2} a \right)$$

Keterangan:

- Mn = Momen nominal/tahanan
- ϕ = Koefisien yang ditentukan berdasarkan regangan
- As = Luasan tulangan yang digunakan
- f_y = Kuat tarik baja
- d = Jarak serat terluar ke titik berat tulangan
- a = Tinggi blok tegangan persegi ekuivalen



Gambar 3. 4 Diagram Alir Perhitungan Penulangan Komponen Lentur

3.4.1.2 Pehitungan Tulangan Geser Pelat

Sedangkan untuk perhitungan kebutuhan tulangan geser, dapat dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Hitung V_u pada titik berjarak d dari ujung perletakan
2. Cek: $V_u \leq \phi \left(V_c + \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \right)$
Bila tidak memenuhi maka perbesaran penampang
3. Kriteria kebutuhan tulangan geser:
 - a. $V_u \leq 0,5 \phi V_c$
Tidak perlu penguatan geser
 - b. $0,5 \phi V_c < V_u < \phi V_c$
Dipakai tulangan geser minimum
 - c. $\phi V_c < V_u < \phi (V_c + V_s \text{ min})$
Diperlukan tulangan geser

$$d. \phi (V_c + V_s \min) < V_u \phi \left(V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \right)$$

Perlu tulangan geser

Dimana:

- $V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b_w \cdot d$
- $V_s = \sqrt{\frac{f_c'}{3}} b_w \cdot d$
- $\phi = 0,75$ (untuk geser)

Keterangan:

V_c = Kekuatan geser nominal yang diakibatkan oleh Beton

V_s = Kekuatan geser nominal yang diakibatkan oleh tulangan geser

V_n = Kekuatan geser nominal ($V_c + V_s$)

V_u = Gaya geser terfaktor

4. Menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.5.3.4 :

Bila sengkang tertutup tidak diperlukan, sengkang dengan kait gempa pada kedua ujung harus dispasikan dengan jarak tidak lebih dari $d/2$ sepanjang panjang komponen struktur.

3.4.1.3 Pehitungan Tulangan Susut

Kebutuhan tulangan susut di atur dalam SNI 03-2847-2013 Pasal 7.12.2.1

3.4.2 Kontrol retak

Berdasarkan SNI-2847-2013 pasal 14.8.2.4 tulangan dari komponen struktur harus memberikan kekuatan desain

$$\phi M_n \geq M_{cr} \quad (3-4)$$

dimana M_{cr} harus diperoleh menggunakan modulus hancur, f_r , yang diberikan pada SNI-2847-2013 pasal 9.5.3.2

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} \quad (3-5)$$

dan

$$f_r = 0,62\lambda\sqrt{f_c} \quad (3-6)$$

dimana:

M_{cr} = momen retak

f_r = modulus hancur beton

I_g = momen inersia penampang beton bruto

y_t = jarak dari sumbu pusat penampang bruto ke muka Tarik

λ = factor modifikasi ($\lambda = 1,0$ untuk beton berat normal)

3.4.3 Perencanaan Balok Anak

Untuk penentuan dimensi balok anak perhitungan sama dengan perhitungan balok induk. Beban pelat yang diteruskan ke balok anak dihitung sebagai beban trapesium, segitiga dan dua segitiga. Beban ekivalen ini selanjutnya akan digunakan untuk menghitung gaya-gaya dalam yang terjadi di balok anak untuk menentukan tulangan lentur dan geser (perhitungan tulangan longitudinal sama dengan pelat).

3.4.4 Perencanaan Tangga

Perencanaan desain awal tangga mencari lebar dan tinggi injakan.

$$60 \text{ cm} \leq 2t + i \leq 65 \text{ cm} \quad (3-7)$$

Dimana :

t = tinggi injakan

i = lebar injakan

α = sudut kemiringan tangga ($25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$)

Untuk penulangan tangga, perhitungan penulangan bordes dan pelat dasar tangga dilakukan dengan melakukan permodelan pada program aplikasi SAP 2000 v14. Perencanaan tebal tangga ditentukan sesuai ketentuan dalam perhitungan dimensi awal pelat.

3.4.5 Perencanaan Lift

Lift merupakan alat transportasi manusia dalam gedung dan satu tingkat ke tingkat lain. Perencanaan lift disesuaikan dengan pemikiran jumlah lantai dan perkiraan jumlah pengguna lift. Dalam

perencanaan lift, metode perhitungan yang dilakukan merupakan analisis terhadap konstruksi ruang tempat lift dan balok penggantung katrol lift.

Ruang landasan diberi kelonggaran (*lift pit*) supaya pada saat lift mencapai lantai paling bawah, lift tidak menumbuk dasar landasan, disamping berfungsi pula menahan lift apabila terjadi kecelakaan, misalnya tali putus. Perencanaan ini mencakup perencanaan penumpu depan, penumpu belakang, dan balok penggantung lift.

3.5 Pembebanan

Dalam melakukan analisa desain suatu struktur, perlu ada gambaran yang jelas mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada struktur. Perilaku suatu struktur sangat dipengaruhi oleh beban-beban yang bekerja padanya. Beban yang bekerja pada suatu struktur ada beberapa jenis menurut karakteristik, yaitu beban statis dan beban dinamis. Berikut ini akan menjelaskan lebih detail mengenai pembebanan sesuai dengan ketentuan berdasarkan SNI 03-1726-2012, SNI 03-1727-2013, SNI 03-2847-2013 dan ASCE 7-2002.

3.5.1 Beban Statis

Beban statis adalah beban yang bekerja secara terus-menerus pada struktur dan juga yang diasosiasikan timbul secara perlahan-lahan, dan mempunyai karakter steady-states yaitu bersifat tetap. Jenis-jenis beban statis menurut ASCE 7-2002 dan SNI 03-1727-2013 adalah sebagai berikut.

a. Beban Mati

Beban mati adalah beban-beban yang bekerja vertikal ke bawah pada struktur dan mempunyai karakteristik bangunan, seperti misalnya penutup lantai, alat mekanis, dan partisi yang dapat dipindahkan. Beban mati yang digunakan pada perancangan menggunakan ASCE 7-2002 Tabel C3-1, dimana beban yang dipakai tertera pada Tabel 3.4.

Table 3. 4 Beban Mati pada Struktur

Beban Mati	Besar Beban
Beton Bertulang	2360 kg/m ³
Lantai Ubin Semen Portland	24 kg/m ²
Spesi + Keramik (25 mm)	110 kg/m ²
Dinding Bata Ringan (Brosur CITICON®)	600 kg/m ³
Penggantung Langit-langit	10 kg/m ²
Plafond	5 kg/m ²
Mechanical Electrical (M/E)	19 kg/m ²
Lapisan Waterproofing	5 kg/m ²

(ASCE 7-2002 & Brosur)

b. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban-beban yang bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu yang diberikan. Semua beban hidup mempunyai karakteristik dapat berpindah atau bergerak. Secara umum beban ini bekerja dengan arah vertikal ke bawah, tetapi kadang – kadang dapat berarah horizontal. Beban hidup diperhitungkan berdasarkan pendekatan matematis dan menurut kebiasaan yang berlaku pada pelaksanaan konstruksi di Indonesia. Untuk menentukan secara pasti beban hidup yang bekerja pada suatu lantai bangunan sangatlah sulit, dikarenakan fluktuasi beban hidup bervariasi, tergantung dan banyak faktor. Oleh karena itu, faktor beban – beban hidup lebih besar dibandingkan dengan beban mati. Peraturan yang digunakan dalam perancangan beban hidup pada SNI 03-1727-2013 Tabel 4.1. dimana beban yang dipakai tertera pada Tabel 3.4.

Table 3. 5 Beban Hidup pada Struktur

Beban Hidup	Besar Beban
Beban Ruang Kelas	192 kg/m ²
Beban Koridor (di atas Lantai Pertama)	383 kg/m ²
Beban Ruang Pertemuan	479 kg/m ²

(Koridor Lantai Pertama)	
Beban Ruang Kantor	240 kg/m ²
Beban Bordes & Anak Tangga (SNI 03-1727-2013 Pasal 4.5.4)	133 kg
Beban Atap Datar (Lr)	96 kg/m ²
Beban Pekerja (Terpusat)	100 kg

(sumber: SNI 03-1727-2013)

3.5.2 Beban Gempa

Beban gempa berdasarkan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2012). Pembebanan gravitasi struktur pada Sistem Rangka Pemikul Momen hanya diterima oleh frame. Pembebanan ini termasuk beban mati dan beban hidup yang terjadi pada struktur. Perencanaan Beban Gempa pada struktur menggunakan metode diafragma, dimana pengaruh pada struktur dibebankan langsung kepusat massa bangunan (*center of mass*). Gaya geser dasar akibat gempa diperoleh dengan mengalikan berat gedung dengan faktor-faktor modifikasi sesuai dengan peraturan pembebanan yang ada.

Analisa beban gempa berdasarkan SNI 03-1726-2012 meliputi:

- Penentuan respon spektrum

Penentuan wilayah gempa dapat dilihat pada gambar 9 dan 10 SNI-03-1726-2012

- Respon seismik (C_s)

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (3-8)$$

(Persamaan 7.8-2 SNI 03-1726-2012)

Dimana:

S_{DS} = percepatan spektrum respons disain dalam rentan periode pendek

R = faktor modifikasi respons dalam tabel 7.2-1 (SNI 03-1726-2012)

Ie = faktor keutamaan hunian yang ditentukan sesuai dengan Tabel 6.4

nilai C_s max tidak lebih dari

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)} \quad (3-9)$$

- Gaya geser dasar dan gaya seismik lateral

$$V = C_s \times W \quad (3-10)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3-11)$$

dimana:

C_s = koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai dengan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.8.1.1

W = berat seismik efektif menurut SNI 03-1726-2012 Pasal 7.7.2

3.5.3 Kombinasi Pembebanan

Menurut SNI 1726-2012: Pasal 4.2.2 struktur harus dirancang sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi beban sebagai berikut:

- 1) $U = 1,4 D$
- 2) $U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
- 3) $U = 1,2 D + 1,6 L (L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$
- 4) $U = 1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
- 5) $U = 1,2 D + 1,0 E + L$
- 6) $U = 0,9 D + 1,0 W$
- 7) $U = 0,9 D + 1,0 E$

Menurut SNI 1726-2012: Pasal 8.3.1.3 pengaruh gempa pada kombinasi dasar untuk desain kekuatan:

$$5) U = (0,9 - 0,2 Sds) D + 1,0 E$$

$$6) U = (1,2 + 0,2 Sds) D + 1,0 E + 1,0 L$$

Dimana, $0,2 \times Sds = 0,2 \times (0,607) = 0,1214$, maka:

$$5) U = 0,78 D + 1,0 E$$

$$6) U = 1,32 D + 1,0 E + 1,0 L$$

Menurut SNI 1726-2012: Pasal 7.4.2.1 pengaruh gempa horizontal harus ditentukan sebagai berikut:

$$E = \rho \times QE$$

Dimana:

ρ = faktor redudansi = 1,3 (Ps 7.3.4.2)

E = $1,3 \times 1 E = 1,3$

Sds = 0,607

Sehingga kombinasi pembebanan yang digunakan pada analisis program SAP 2000 adalah sebagai berikut:

$$1) U = 1,4 D$$

$$2) U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 Lr$$

$$3) U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 R$$

$$4) U = 1,2 D + 1,6 Lr + 1,0 L$$

$$5) U = 1,2 D + 1,6 R + 1,0 L$$

$$6) U = 1,2 D + 1,6 Lr + 0,5 Wx$$

$$7) U = 1,2 D + 1,6 Lr + 0,5 Wy$$

$$8) U = 1,2 D + 1,6 R + 0,5 Wx$$

$$9) U = 1,2 D + 1,6 R + 0,5 Wy$$

$$10) U = 1,2 D + 1,0 Wx + 1,0 L + 0,5 Lr$$

$$11) U = 1,2 D + 1,0 Wy + 1,0 L + 0,5 Lr$$

$$12) U = 1,2 D + 1,0 Wx + 1,0 L + 0,5 R$$

$$13) U = 1,2 D + 1,0 Wy + 1,0 L + 0,5 R$$

$$14) U = 0,9 D + 1,0 Wx$$

$$15) U = 0,9 D + 1,0 Wy$$

$$16) U = 0,78 D + 1,3 Ex + 0,39 Ey$$

$$17) U = 0,78 D + 0,39 Ex + 1,3 Ey$$

$$18) U = 1,32 D + 1,3 Ex + 0,39 Ey + 1,0 L$$

$$19) U = 1,32 D + 0,39 Ex + 1,3 Ey + 1,0 L$$

$$20) U = 1,0 D + 1,0 L$$

Dimana:

U = beban ultimate

D = beban mati

L = beban hidup

E = beban gempa

W = beban angin

Lr = beban hidup atap

R = beban hujan

3.6 Permodelan dan Analisa Struktur

Permodelan dan analisa struktur dilakukan untuk mengetahui perilaku struktur akibat pembebanan, baik beban gravitasi maupun beban lateral. Output dari permodelan ini antara lain untuk mengetahui perilaku struktur secara keseluruhan dan perilaku komponen struktur. Perilaku struktur secara keseluruhan antara lain: partisipasi massa harus memenuhi, simpangan per lantai harus memenuhi, serta gaya geser gempa harus mendekati total reaksi horizontal di perletakan. Sedangkan perilaku komponen struktur meliputi komponen kolom dan balok yang ditinjau dari gaya dalam yang didapat dari permodelan struktur. Gaya dalam pada kolom yang perlu diperhatikan antara lain aksial, momen arah x dan y, torsi, geser. Gaya dalam pada balok antara lain momen, geser dan torsi.

Permodelan dan analisa struktur dilakukan dengan menggunakan program bantu SAP 2000 v14 dengan langkah-langkah permodelan sebagai berikut: Menggambar permodelan struktur, mendesain material dan penampang, memasukkan beban gravitasi dan beban lateral, perletakan diasumsikan sebagai jepit-jepit, kemudian dilakukan running, setelah itu dilakukan pengecekan apakah struktur tersebut sesuai dengan persyaratan atau tidak.

3.7 Perhitungan Struktur Utama

Perhitungan perencanaan struktur utama dilakukan setelah perhitungan untuk elemen sekunder beserta gaya-gaya dalam yang

diperoleh dari hasil analisa struktur, selanjutnya pendetailan elemen-elemen struktur utama. Perencanaan struktur ini meliputi perencanaan penulangan lentur dan perencanaan penulangan geser.

3.7.1 Perencanaan Balok Induk

3.7.1.1 Perhitungan Tulangan Lentur Balok

Tahapan yang digunakan dalam menentukan tulangan lentur plat adalah sebagai berikut:

1. Menentukan data-data d , f_y , f'_c , dan μ
2. Menentukan harga β_1

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 \frac{(f'_c - 28)}{7} \quad (3-12)$$

SNI 03-2847-2013 pasal (10.2.7.3)

3. Menentukan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang disyaratkan sebagai berikut :

$$\rho_b = \frac{0.85\beta_1 f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (3-13)$$

SNI 03-2847-2013 lampiran B (8.4.2)

$$\rho_{\max} = 0.025 \quad (3-14)$$

SNI 03-2847-2013 pasal (21.5.2.1)

$$\rho_{\max} = 0.75\rho_b \quad (3-15)$$

SNI 03-2847-2013 lampiran B (10.3.3)

$$\rho_{\min} = \frac{0.25x\sqrt{f'_c}}{f_y} \quad (3-16)$$

SNI 03-2847-2013 pasal (10.5.1)

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} \quad (3-17)$$

SNI 03-2847-2013 pasal (10.5.1)

Dari kedua harga ρ_{\min} tersebut, diambil harga yang terbesar sebagai yang menentukan.

4. Menentukan harga m

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} \quad (3-18)$$

5. Menentukan

$$R_n = \frac{M_n}{\phi b d^2} \quad (3-19)$$

Diketahui harga $\phi = 0.75$

SNI 03-2847-2013 pasal (9.3.2.7)

6. Hitung rasio tulangan yang dibutuhkan :

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 m x R_n}{f_y}} \right) \quad (3-20)$$

Dimana :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{pakai}} < \rho_{\max}$$

7. Menentukan luas tulangan (AS) dari ρ yang didapat

$$\rho = \frac{A_s}{b x d} \longrightarrow A_s = \rho x b x d \quad (3-21)$$

$$8. \text{ Jumlah tulangan} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{1/4 x \pi x \phi^2} \quad (3-22)$$

$$9. \text{ Jarak tulangan} = \frac{b - n x \phi L - 2 d' - 2 \phi S}{n - 1} \quad (3-23)$$

3.7.1.2 Perhitungan Tulangan Geser Balok

Perencanaan penampang geser harus didasarkan sesuai SNI 03-2847-2013, Pasal 11.1.1 persamaan 11-1 yaitu harus memenuhi $\phi V_n \geq V_u$,

dimana:

V_n = kuat geser nominal penampang

V_u = kuat geser terfaktor pada penampang

ϕ = reduksi kekuatan untuk geser = 0,75

Kuat geser nominal dari penampang merupakan sumbangan kuat geser beton (V_c) dan tulangan (V_s)

$$V_n = V_c + V_s \quad (3-24)$$

SNI 03-2847-2013, Pasal 11.1.1 persamaan 11-2

Dan untuk

$$V_c = 0,17\alpha\sqrt{f'c}b_wd \quad (3-25)$$

SNI 03-2847-2013, Pasal 11.2.1.1 persamaan 11-3

Perencanaan penampang terhadap geser harus didasarkan pada:

$$\phi V_n \geq V_u \quad (3-26)$$

SNI 03-2847-2013, Pasal 11.1

dimana:

V_u = geser terfaktor pada penampang yang ditinjau

V_n = Kuat geser nominal

V_c = Kuat geser beton

V_s = Kuat geser nominal tulangan geser

3.7.1.3 Kontrol Torsi

Pengaruh torsi harus diperhitungkan apabila:

$$T_u \leq \frac{\phi\sqrt{f'c}}{12} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}^2} \right) \quad (3-27)$$

SNI 03-2847-2013, Pasal 11.5.1

Perencanaan penampang terhadap torsi:

$$T_u \leq \phi T_n \quad (3-28)$$

SNI 03-2847-2013, Pasal 11.5.3.5 pers.11-20

Tulangan sengkang untuk puntir:

$$T_n = \frac{2A_0 \cdot A_t \cdot f_y}{s} \cot \theta \quad (3-29)$$

SNI 03-2847-2013, Pasal 11.5.3.6 pers.11-21

Dimana:

T_u = Momen torsi terfaktor

T_n = Kuat momen torsi

T_c = Kuat torsi nominal yang disumbang oleh beton

T_s = Kuat momen torsi nominal tulangan geser

A_0 = Luas yang dibatasi oleh lintasan aliran geser mm^2

3.7.2 Perencanaan Kolom

Detail penulangan kolom akibat beban aksial tekan harus sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.5.1. Sedangkan untuk perhitungan tulangan geser harus sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 23.5.1.

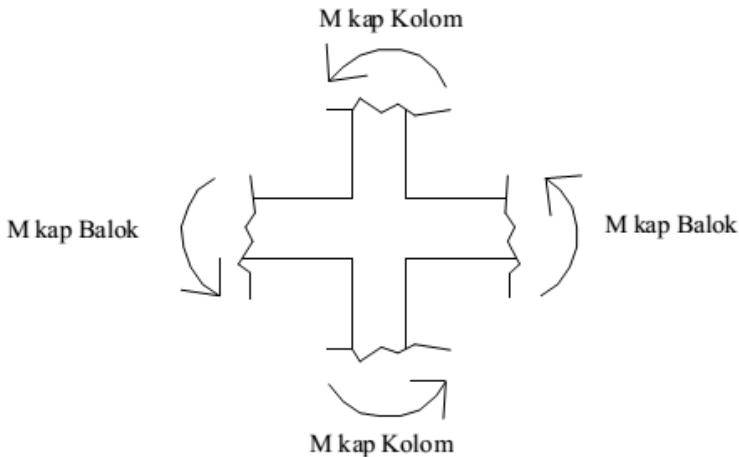
3.7.3 Persyaratan “Strong Column Weak Beams”

Sesuai dengan filosofi desain kapasitas, maka SNI-2847-2013 pasal 21.6.2 mensyaratkan bahwa.

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb} \quad (3-30)$$

SNI -2847-2013 pasal 21.6.2

Dimana $\sum M_{nc}$ adalah momen kapasitas kolom dan $\sum M_{nb}$ merupakan momen kapasitas balok. Perlu dipahami bahwa M_{nc} harus dicari dari gaya aksial terfaktor yang menghasilkan kuat lentur terendah, sesuai dengan arah gempa yang ditinjau yang dipakai untuk memeriksa syarat *strong column weak beam*. Setelah kita dapatkan jumlah tulangan untuk kolom, maka selanjutnya adalah mengontrol apakah kapasitas kolom tersebut sudah memenuhi persyaratan *strong coloumn weak beam*.



Gambar 3. 5 Ilustrasi Kuat Momen yang Bertemu di HBK

3.8 Perencanaan Sambungan

Kelemahan konstruksi pracetak adalah terletak pada sambungan yang relatif kurang kaku atau monolit, sehingga lemah terhadap beban lateral khususnya dalam menahan beban gempa, mengingat Indonesia merupakan daerah dengan intensitas gempa yang cukup besar. Untuk itu sambungan antara elemen balok pracetak dengan kolom maupun dengan plat pracetak direncanakan supaya memiliki kekakuan seperti beton monolit (*cast in place emulation*).

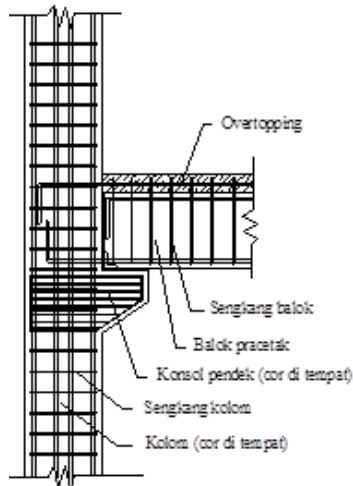
Dengan metode konstruksi semi pracetak, yaitu elemen pracetak dengan tuangan beton *cast in place* di atasnya, maka diharapkan sambungan elemen-elemen tersebut memiliki perilaku yang mendekati sama dengan struktur monolit. Untuk menjamin kekakuan dan kekuatan pada detail sambungan ini memang butuh penelitian mengenai perilaku sambungan tersebut terhadap beban gempa. Berdasarkan beberapa referensi hasil penelitian yang dimuat dalam PCI Journal, ada rekomendasi pendetailan sambungan elemen pracetak dibuat dalam kondisi daktail sesuai dengan konsep desain kapasitas *strong coloumn weak beam*.

Dalam perencanaan sambungan pracetak, gaya–gaya disalurkan dengan cara menggunakan sambungan *grouting*, kunci geser, sambungan mekanis, sambungan baja tulangan, pelapisan dengan beton bertulang cor setempat, atau kombinasi cara–cara tersebut. Dalam penulisan proyek akhir terapan ini digunakan sambungan dengan pelapisan beton bertulang cor setempat.

3.8.1 Perencanaan Sambungan Balok Pracetak Dengan Kolom

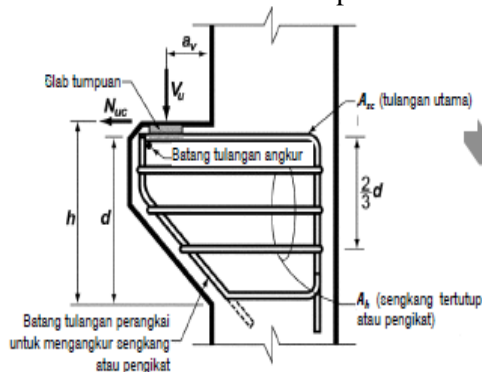
Sambungan antara balok pracetak dengan kolom harus bersifat kaku atau monolit. Oleh sebab itu pada sambungan elemen pracetak ini harus direncanakan sedemikian rupa sehingga memiliki kekakuan yang sama dengan beton cor di tempat. Untuk menghasilkan sambungan dengan kekakuan yang relatif sama dengan beton cor di tempat, dapat dilakukan beberapa hal berikut ini.

- Kombinasi dengan beton cor di tempat (*topping*), dimana permukaan balok pracetak dan kolom dikasarken dengan amplitudo 5 mm.
- Pendetailan tulangan sambungan yang dihubungkan atau diikat secara efektif menjadi satu kesatuan, sesuai dengan aturan yang diberikan dalam SNI 03- 2847-2013 pasal 7.13, yaitu tulangan menerus atau pemberian kait standar pada sambungan ujung.
- Pemasangan dowel dan pemberian *grouting* pada tumpuan atau bidang kontak antara balok pracetak dan kolom untuk mengantisipasi gaya lateral yang bekerja pada struktur.



Gambar 3. 6 Sambungan Balok dengan Kolom
(Sumber: Kalingga, 2015)

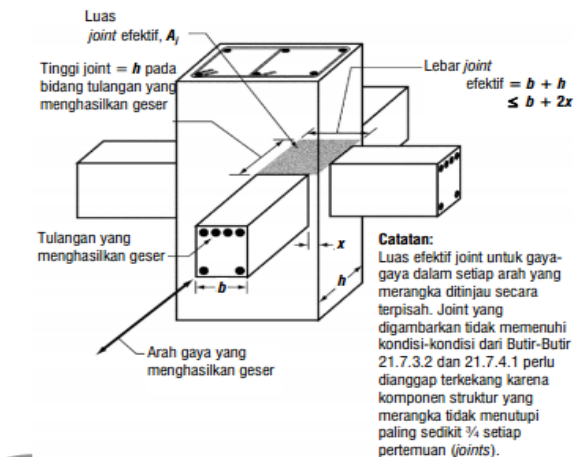
Pada perancangan sambungan balok dan kolom ini menggunakan konsol pendek. Balok induk diletakkan pada konsol pendek pada kolom kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8 mengenai ketentuan khusus untuk konsol pendek.



Gambar 3. 7 Parameter Geometri Konsol Pendek
(Sumber: SNI 03-2847-2013)

Untuk pemakaian sambungan monolit, harus dipenuhi semua kriteria untuk struktur beton bertulang yang monolit, yaitu kekuatan, kelakuan, daktilitas, dst. Sementara bila sambungan kuat yang akan dipakai, harus diyakinkan akan berlangsungnya mekanisme kolom kuat-balok lemah. Pada sambungan balok-kolom harus didesain terjadinya pelelehan lentur di dalam sambungan, sementara pada sambungan kuat pelelehan harus terbentuk di luar sambungan, yaitu paling tidak pada jarak setengah tinggi balok di luar muka kolom. Selanjutnya, baik sambungan balok-kolom daktail maupun kuat harus memenuhi semua persyaratan SNI 03-2847-2013 pasal 21.8

Kuat geser nominal, V_n pada daerah hubungan balok-kolom tidak boleh melebihi nilai yang disebutkan pada SNI 03-2847-2013 pasal 21.7.4



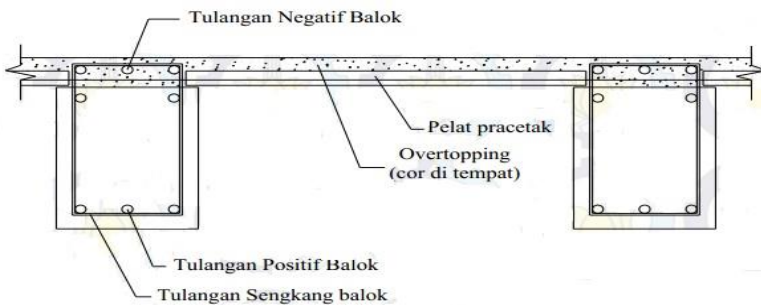
Gambar 3. 8 Hubungan Balok Kolom
(Sumber: SNI 03-2847-2013)

3.8.2 Perencanaan Sambungan Balok Pracetak Dengan Pelat Pracetak

Untuk menghasilkan sambungan yang bersifat kaku, monolit, dan terintegrasi pada elemen-elemen ini, maka harus dipastikan gaya-gaya yang bekerja pada pelat pracetak tersalurkan

pada elemen balok. Hal ini dapat dilakukan dengan cara-cara sebagai berikut.

- Sambungan balok induk pracetak dengan pelat pracetak menggunakan sambungan basah yang diberi *overtopping* yang umumnya digunakan 50 mm – 100 mm
- Kombinasi dengan beton cor di tempat (*topping*), dimana permukaan pelat pracetak dan beton pracetak dikasarken dengan amplitudo 5 mm.
- Pendetailan tulangan sambungan yang dihubungkan atau diikat secara efektif menjadi satu kesatuan, sesuai dengan aturan yang diberikan dalam SNI 03- 2847-2013 pasal 7.13.
- *Grouting* pada tumpuan atau bidang kontak antara plat pracetak dengan balok pracetak.

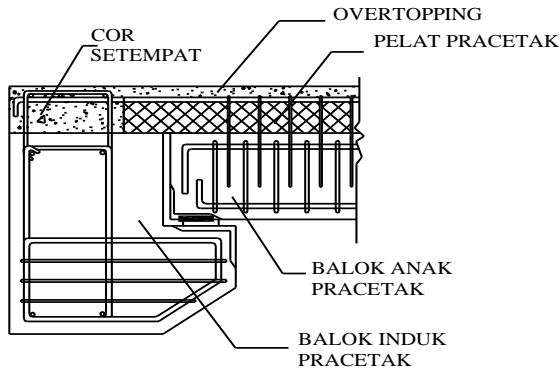


Gambar 3. 9 Sambungan Antara Balok dengan Pelat
(Sumber: Kalingga, 2015)

3.8.3 Perencanaan Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak

Balok anak diletakkan menumpu pada tepi balok induk dengan ketentuan panjang landasan adalah sedikitnya 1/180 kali bentang bersih komponen plat pracetak, tapi tidak boleh kurang dari 75 mm. Untuk membuat integritas struktur, maka tulangan utama balok anak baik yang tulangan atas maupun bawah dibuat menerus atau dengan kait standar yang pendetailannya sesuai dengan aturan SK SNI 03-2847-2013.

Dalam perancangan sambungan balok induk dengan balok anak digunakan konsol pada balok induk. Balok anak diletakkan pada konsol pendek pada balok induk, kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada balok induk ini sama dengan perencanaan konsol pada kolom.



Gambar 3. 10 Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak
(Sumber: Kalingga, 2015)

3.9 Kontrol Elemen Pracetak

Metode pracetak adalah salah satu metode pembuatan suatu struktur elemen bangunan yang dilakukan dengan pengawasan dan ketelitian yang tinggi. Sehingga dalam prosesnya dari awal fabrikasi, penempatan di storage serta pemasangan harus melalui beberapa kontrol elemen guna memastikan bahwa elemen struktur tersebut dalam kondisi yang optimal saat setelah pemasangan yang disertai cor in situ. Berikut tabel yang menampilkan umur elemen pracetak sesuai dengan waktu.

3.9.1 Kontrol Pengangkatan

Saat umur beton memasuki umur yang ditentukan pada saat pengangkatan, maka beton pracetak harus di kontrol dalam proses pengangkatannya menuju *storage* . Hal ini dilakukan karena pada saat kondisi tersebut timbul momen.

$$\sigma = \frac{M}{W} < fr = 0,7 \sqrt{fc'x \text{ Presentase Umur Beton}}$$

Dimana:

σ = Tegangan Terjadi

M = Momen Terjadi

W = Momen Tahanan

fr = Kuat Tekan Beton pada Umur Tertentu

fc' = Kuat Tekan Beton Rencana

Berikut adalah ilustrasi dari kontrol pengangkatan:



Gambar 3. 11 Contoh Pengangkatan

3.9.2 Kontrol Penumpukan

Ketika elemen pracetak diletakan di *storage* dibutuhkan tumpuan yang nantinya akan berkaitan dengan letak penumpu dan jumlah elemen pracetak yang menumpu.

$$\sigma = \frac{M}{W} < fr = 0,7 \sqrt{fc'x \text{ Presentase Umur Beton}}$$

Dimana:

σ = Tegangan Terjadi

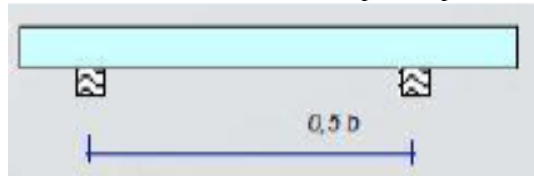
M = Momen Terjadi

W = Momen Tahanan

fr = Kuat Tekan Beton pada Umur Tertentu

fc' = Kuat Tekan Beton Rencana

Berikut adalah ilustrasi dari penumpukan:



Gambar 3. 12 Contoh Penumpukan

3.9.3 Kontrol Pemasangan

Kontrol pemasangan dilakukan untuk menjamin kelurusan (*alignment*) yang tepat dan integritas struktur hingga sambungan permanen selesai dipasang.

$$\sigma = \frac{M}{W} < f_r = 0,7 \sqrt{f_c' \times \text{Presentase Umur Beton}}$$

Dimana:

σ = Tegangan Terjadi

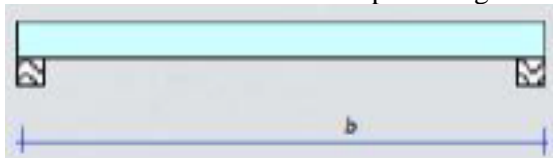
M = Momen Terjadi

W = Momen Tahanan

f_r = Kuat Tekan Beton pada Umur Tertentu

f_c' = Kuat Tekan Beton Rencana

Berikut adalah ilustrasi dari pemasangan:



Gambar 3. 13 Contoh Pemasangan

3.9.4 Kontrol Pengecoran

Kontrol pengecoran dilakukan untuk memastikan bahwa elemen pracetak yang nantinya akan dijadikan dasar dari beton *overlapping* sanggup menahan cor *in situ*.

$$\sigma = \frac{M}{W} < f_r = 0,7 \sqrt{f_c' x \text{ Presentase Umur Beton}}$$

Dimana:

σ = Tegangan Terjadi

M = Momen Terjadi

W = Momen Tahanan

f_r = Kuat Tekan Beton pada Umur Tertentu

f_c' = Kuat Tekan Beton Rencana

Berikut adalah ilustrasi dari pengecoran:



Gambar 3. 14 Contoh Pengecoran

3.10 Penggambaran Hasil Perhitungan

Penggambaran hasil perencanaan dan perhitungan dalam tugas akhir ini menggunakan program AutoCAD.



BAB IV

PEMBAHASAN

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Preliminary Desain

4.1.1 Umum

Preliminary desain merupakan tahapan perhitungan dalam perancangan untuk merencanakan dimensi awal dari suatu elemen struktur. Elemen struktur sendiri terbagi dalam elemen struktur primer atau struktur utama dan struktur sekunder. Struktur sekunder merupakan bagian dari struktur gedung yang tidak menahan kekakuan secara keseluruhan, namun tetap mengalami tegangan-tegangan akibat pembebanan yang bekerja pada bagian tersebut secara langsung, ataupun tegangan akibat perubahan bentuk dari struktur primer. Perhitungan preliminary design mengikuti peraturan SNI-03-2847-2013.

4.1.2 Data Perencanaan

Sebelum perhitungan *preliminary design* perlu diketahui terlebih dahulu data perencanaan dan beban-beban yang diterima oleh struktur gedung. Pada perencanaan gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya dimodifikasi menggunakan beton pracetak (non prategang) dengan data perencanaan sebagai berikut:

- Nama gedung : Gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya
- Lokasi : Jl. Sutorejo No. 59, Sukolilo, Surabaya
- Tipe bangunan : Fasilitas Pendidikan
- Jumlah lantai : 9 lantai
- Ketinggian lantai : 4,20 meter
- Tinggi bangunan : $\pm 33,60$ meter
- Struktur bangunan : Beton pracetak (non prategang)
- Mutu beton ($f'c$) : 35 Mpa
- Mutu baja (f_y) : 400 Mpa
- Letak bangunan : Dekat dari pantai

4.1.3 Pembebanan

1. Beban Gravitasi

➤ Beban Mati (ASCE 7-2002)

- Berat sendiri beton bertulang : 2360 kg/m^3
- Dinding Dinding Bata Ringan (Brosur CITICON®) : 600 kg/m^3
- Plafond : 5 kg/m^2
- Penggantung langit-langit : 10 kg/m^2
- Mechanical duckting : 19 kg/m^2
- Keramik + Spesi (25 mm) : 110 kg/m^2

➤ Beban Hidup (SNI 03-1727-2013)

- Beban pekerja (Terpusat) : 100 kg
- Lantai sekolah (Ruang Kelas) : 192 kg/m^2
- Tangga dan bordes : 133 kg

2. Beban Angin

Perencanaan dan perhitungan struktur terhadap beban angin dilakukan menurut SNI 03-1727-2013.

3. Beban Gempa

Perencanaan dan perhitungan struktur terhadap gempa dilakukan menurut SNI 03-1726-2012.

4.1.4 Perencanaan Dimensi Balok

Modifikasi pada proyek akhir terapan ini menggunakan balok yang penampangnya berbentuk persegi (*rectangular beam*). Perencanaan balok dilakukan dalam dua tahap dimana tahap pertama balok pracetak dibuat dengan sistem fabrikasi yang kemudian pada tahap kedua dilakukan penyambungan dengan menggunakan sambungan basah. Pada tahap kedua balok dipasang dengan pengangkatan ke site lalu dilakukan *over-topping (cor in site)* setelah sebelumnya dipasang terlebih dahulu pelat pracetak. Dengan system tersebut maka akan membentuk suatu struktur yang monolit.

Dimensi balok yang disyaratkan pada SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.2.1 yang tertera pada tabel 9.5(a). Nilai pada tabel

tersebut berlaku apabila digunakan langsung untuk komponen struktur beton normal dan tulangan dengan mutu 420 MPa.

$$h_{\min} = \frac{L}{16} \quad \text{digunakan apabila } f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$h_{\min} = \frac{L}{16} \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right) \quad \text{digunakan untuk } f_y \text{ selain } 420 \text{ Mpa}$$

$$h_{\min} = \frac{L}{16} \times (1,65 - 0,003w_c) \quad \text{digunakan untuk nilai } w_c$$

1440 sampai 1840 kg/m³

Untuk lebar balok diambil $\frac{2}{3}$ dari tinggi balok:

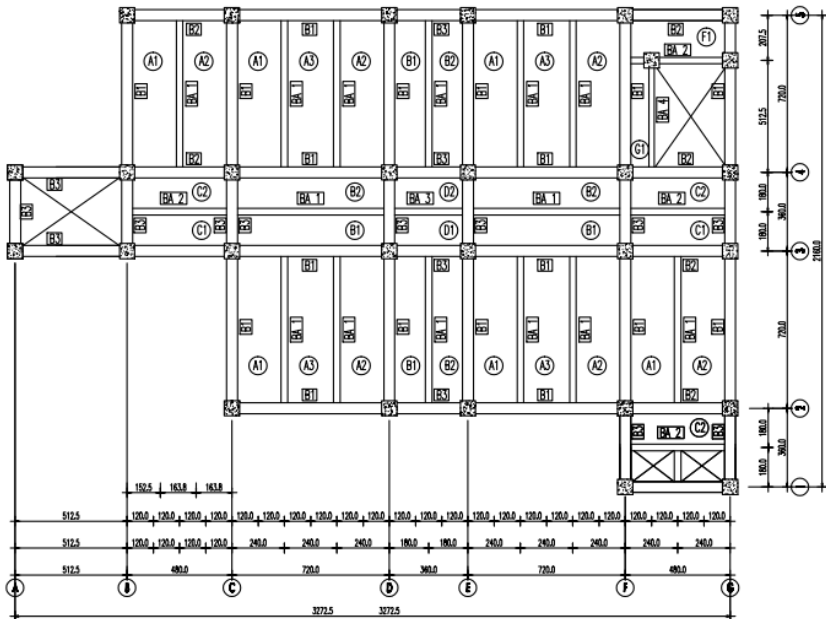
$$b = \frac{2}{3} h$$

Dimana:

b = lebar balok

h = tinggi balok

L = lebar kotor dari balok



Gambar 4. 1 Denah Pembalokan

4.1.4.1 Dimensi Balok Induk

Dimensi balok induk direncanakan sebagai balok dengan dua tumpuan sederhana dengan mutu beton 35 MPa dan mutu baja 400 MPa sehingga digunakan:

➤ **Dimensi Balok induk memanjang: L = 7,20 meter**

$$h_{\min} = \frac{720}{16} \times \left(0,4 + \frac{400}{700}\right) = 43,71 \text{ cm}$$

$$h_{\min} = 43,71 \text{ cm digunakan } h = 70 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 43,71 \text{ cm} = 29,14 \text{ cm} \approx \text{digunakan } b = 50 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi balok induk memanjang dengan dimensi 50/70 cm

➤ **Dimensi balok induk melintang: L = 7,20 meter**

$$h_{\min} = \frac{720}{16} \times \left(0,4 + \frac{400}{700}\right) = 43,71 \text{ cm}$$

$$h_{\min} = 43,71 \text{ cm} \approx \text{digunakan } h = 70 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 43,71 \text{ cm} = 29,14 \text{ cm} \approx \text{digunakan } b = 50 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi balok induk melintang dengan dimensi 50/70 cm

Tabel 4. 1 Rekapitulasi Dimensi Balok Induk

Kode balok induk	Bentang bersih (Lb)	h_{\min}	b	h_{pakai}	b_{pakai}	Dimensi
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
B1	720	43.71	29.14	70	50	50/70
B2	480	29.14	19.43	70	50	50/70
B3	360	21.86	14.57	70	50	50/70
B4	512,5	31,12	20,75	70	50	50/70
B5	207,5	12.60	8.40	70	50	50/70

4.1.4.2 Dimensi Balok Anak

Dimensi balok anak direncanakan sebagai balok pada dua tumpuan menerus dengan mutu beton 35 MPa dan mutu baja 400 MPa sehingga digunakan:

$$h_{\min} = \frac{L}{21} \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right) \quad \begin{array}{l} f_y \text{ selain } 420 \text{ Mpa} \\ (\text{SNI-03-2847-2013 Tabel 9.5.a}) \end{array}$$

$$b = \frac{2}{3} h$$

Dimana:

b = lebar balok

h = tinggi balok

➤ **Dimensi Balok anak memanjang: L = 7,20 meter**

$$h_{\min} = \frac{720}{21} \times \left(0,4 + \frac{400}{700}\right) = 33,31 \text{ cm}$$

$$h_{\min} = 33,31 \text{ cm digunakan } h = 50 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 33,31 \text{ cm} = 22,2 \text{ cm} \approx \text{digunakan } b = 30 \text{ cm}$$

maka digunakan balok anak arah melintang dengan dimensi 30/50 cm

➤ **Dimensi Balok anak melintang: L = 7,20 meter**

$$h_{\min} = \frac{720}{21} \times \left(0,4 + \frac{400}{700}\right) = 33,31 \text{ cm}$$

$$h_{\min} = 33,31 \text{ cm digunakan } h = 50 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 33,31 \text{ cm} = 22,2 \text{ cm} \approx \text{digunakan } b = 30 \text{ cm}$$

maka digunakan balok anak arah melintang dengan dimensi 30/50 cm

Tabel 4. 2 Rekapitulasi Dimensi Balok Anak

Kode Balok Anak	Bentang bersih (L_b)	h_{min}	b	h_{pakai}	b_{pakai}	Dimensi
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
BA1	720	33.31	22.20	50	30	30/50
BA2	480	22.20	14.80	50	30	30/50
BA3	360	16.65	11.10	50	30	30/50
BA4	512.5	23.71	15.80	50	30	30/50
BA5	120	5.55	3.70	50	30	30/50

4.1.5 Perencanaan Tebal Pelat

4.1.5.1 Peraturan Perencanaan Pelat

Penentuan tebal pelat minimum satu arah harus sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.2 tabel 9.5(c). sedangkan untuk pelat dua arah harus sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.3.

Syarat ketebalan pelat minimum dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya:

- Untuk α_m yang sama atau lebih kecil dari 0,2 harus menggunakan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.2
 - Tebal pelat tanpa penebalan 120 mm
 - Tebal pelat dengan penebalan 100 mm
- Untuk α_m lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0, ketebalan pelat minimum harus memenuhi:

$$h = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0,2)} \quad (\text{SNI 03-2847-2013, persamaan 9-12})$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm.

- Untuk α_m lebih besar dari 2,0, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \quad (\text{SNI 03-2847-2013, persamaan 9-13})$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm

dimana:

ℓ_n = panjang bentang bersih arah memanjang pelat (m)

β = rasio panjang bentang arah memanjang dengan arah memendek pelat

α_m = nilai rata-rata dari α untuk semua balok pada tepi dari suatu pelat

α = rasio dari kekuatan lentur penampang balok dengan kekakuan pelat

f_y = kuat leleh baja non-prategang (Mpa)

$$\alpha = \frac{E_{\text{balok}} \times I_{\text{balok}}}{E_{\text{pelat}} \times I_{\text{pelat}}}$$

$$I_{\text{balok}} = \frac{1}{12} \times b_w \times h^3 \times k$$

$$I_{\text{pelat}} = \frac{1}{12} \times b \times t^3$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \times \left(\frac{h_f}{h_w} \right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h_w} \right) \right] + 4 \left(\frac{h_f}{h_w} \right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \times \left(\frac{h_f}{h_w} \right)^3}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \times \left(\frac{h_f}{h_w} \right)}$$

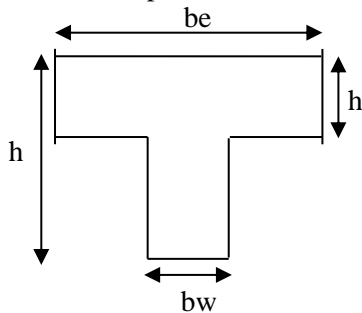
Perumusan untuk mencari lebar flens pada balok SNI 03-2847-2013 pasal 8.12

- Balok tengah (Interior)

$$b_{e1} \leq b_w + 2(8h_f)$$

$$b_{e2} \leq b_w + (2 \times \frac{1}{2} \ell_n)$$

dipakai yang terkecil



Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 8.12.2: nilai lebar slab efektif sebagai sayap balok-T tidak boleh memenuhi seperempat bentang balok, dan lebar efektif sayap yang menggantung pada masing-masing sisi badan balok tidak boleh melebihi:

- Delapan kali tebal slab
- Setengah jarak bersih ke badan di sebelahnya

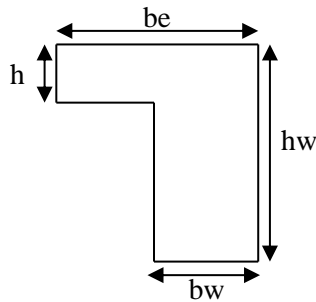
- Balok tepi (Eksterior)

$$be_1 \leq bw + \frac{L}{12}$$

$$be_2 \leq bw + 6hf$$

$$be_3 \leq bw + \frac{1}{2} L_n$$

dipakai yang terkecil



Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 8.12.3: Nilai lebar sayap efektif yang menggantung tidak boleh melebihi:

- Seperduabelas panjang bentang balok
- Enam kali tebal slab
- Setengah jarak bersih ke badan di sebelahnya

4.1.5.2 Data Perencanaan Tebal Pelat Lantai dan Atap

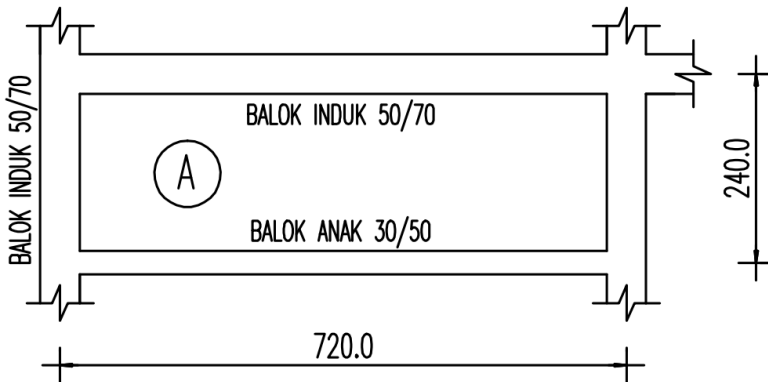
Pelat yang direncanakan berupa pelat lantai dengan 7 tipe pelat yang memiliki ukuran yaitu:

- Pelat tipe A : 240 x 720 cm
- Pelat tipe B : 180 x 720 cm
- Pelat tipe C : 180 x 480 cm
- Pelat tipe D : 180 x 360 cm
- Pelat tipe E : 207,5 x 480 cm
- Pelat tipe F : 120 x 512,5 cm
- Pelat tipe G : 180 x 512,5 cm

Semua tipe pelat tersebut direncanakan dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Mutu beton : 35 MPa
- Mutu baja : 400 MPa
- Tebal pelat rencana : 14 cm

Dalam perencanaan ini, pelat berupa pelat pracetak yang kemudian pada saat pemasangan elemen pracetak tersebut dilanjutkan (pekerjaan *overtopping*). Dalam tugas akhir ini pelat tipe A dengan dimensi terbesar yaitu 240 x 720 cm digunakan sebagai contoh perhitungan dimensi tebal pelat dengan sehingga nilai L_n dan S_n yaitu:



$$L_n = 720 - \left(\frac{50}{2} + \frac{50}{2} \right) = 670 \text{ cm}$$

$$S_n = 240 - \left(\frac{30}{2} + \frac{50}{2} \right) = 200 \text{ cm}$$

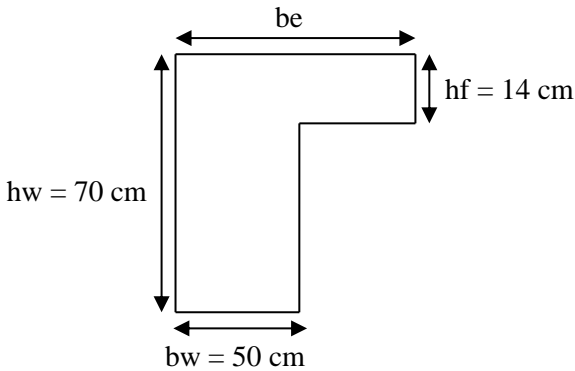
4.1.5.3 Kontrol Tebal Pelat

Untuk pelat tipe A dengan dimensi 240 x 720 cm nilai

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{670}{200} = 3,350$$

sehingga $\beta > 2$ tergolong pelat satu arah, maka perhitungan lebar sayap efektif adalah:

1. Balok induk L = 240 cm (50/70) (Eksterior)



$$be_1 \leq bw + \frac{L}{12} = 50 + \frac{240}{12} = 70 \text{ cm}$$

$$be_2 \leq bw + 6hf = 50 + 6(14) = 134 \text{ cm}$$

$$be_3 \leq bw + \frac{1}{2} Ln = 50 + \frac{1}{2} (200) = 150 \text{ cm}$$

Maka dipakai $be = 70 \text{ cm}$... (terkecil)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1 \right) \left(\frac{hf}{hw} \right) \left[4 - 6 \left(\frac{hf}{hw} \right) + 4 \left(\frac{hf}{hw} \right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1 \right) \left(\frac{hf}{hw} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1 \right) \left(\frac{hf}{hw} \right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{70}{50} - 1 \right) \left(\frac{14}{70} \right) \left[4 - 6 \left(\frac{14}{70} \right) + 4 \left(\frac{14}{70} \right)^2 + \left(\frac{70}{50} - 1 \right) \left(\frac{14}{70} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{70}{50} - 1 \right) \left(\frac{14}{70} \right)}$$

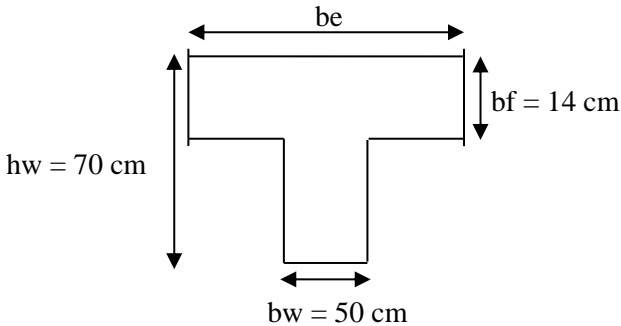
$$k = 1,145$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{balok}} &= \frac{1}{12} \times bw \times hw^3 \times k \\
 &= \frac{1}{12} \times 50 \times 70^3 \times 1,145 \\
 &= 1636999,26 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{pelat}} &= \frac{1}{12} \times L \times hf^3 \\
 &= \frac{1}{12} \times 240 \times 14^3 \\
 &= 54880 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\alpha = \frac{I_{\text{balok}}}{I_{\text{pelat}}} = \frac{1636999,26}{54880} = 29,83$$

2. Balok induk L = 240 cm (50/70) (Interior)



$$be_1 \leq bw + 2(8hf) = 50 + 2(8 \times 14) = 274 \text{ cm}$$

$$be_2 \leq bw + \left(2 \times \frac{1}{2} Ln\right) = 50 + \left(2 \times \frac{1}{2} \times 200\right) = 250 \text{ cm}$$

Maka dipakai $be = 250 \text{ cm}$... (terkecil)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{hf}{hw}\right) + 4 \left(\frac{hf}{hw}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{250}{50} - 1\right) \left(\frac{14}{70}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{14}{70}\right) + 4 \left(\frac{14}{70}\right)^2 + \left(\frac{250}{50} - 1\right) \left(\frac{14}{70}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{250}{50} - 1\right) \left(\frac{14}{70}\right)}$$

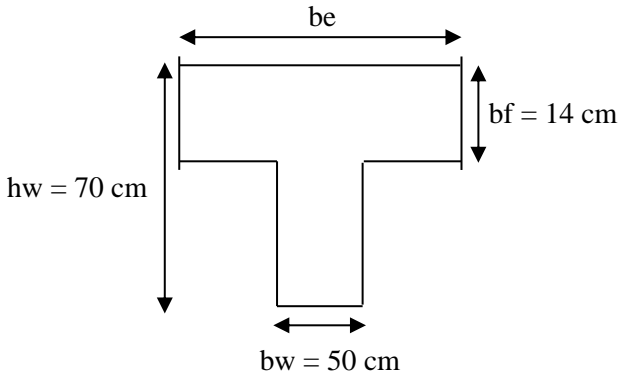
$$k = 1,885$$

$$\begin{aligned} I_{balok} &= \frac{1}{12} \times bw \times hw^3 \times k \\ &= \frac{1}{12} \times 50 \times 70^3 \times 1,885 \\ &= 2694455,56 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{pelat} &= \frac{1}{12} \times L \times hf^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 240 \times 14^3 \\ &= 54880 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\alpha = \frac{I_{balok}}{I_{pelat}} = \frac{2694455,56}{54880} = 49,10$$

3. Balok induk L = 720 cm (50/70) (Interior)



$$be_1 \leq bw + 2(8hf) = 50 + 2(8 \times 14) = 274 \text{ cm}$$

$$be_2 \leq bw + \left(2 \times \frac{1}{2} Ln\right) = 50 + \left(2 \times \frac{1}{2} \times 670\right) = 720 \text{ cm}$$

Maka dipakai $be = 274 \text{ cm}$... (terkecil)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{hf}{hw}\right) + 4 \left(\frac{hf}{hw}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{274}{50} - 1\right) \left(\frac{14}{70}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{14}{70}\right) + 4 \left(\frac{14}{70}\right)^2 + \left(\frac{274}{50} - 1\right) \left(\frac{14}{70}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{274}{50} - 1\right) \left(\frac{14}{70}\right)}$$

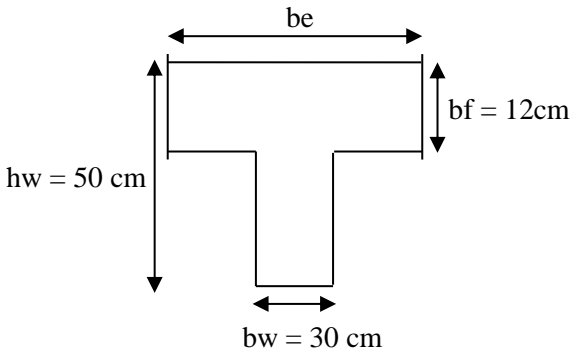
$$k = 1,943$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{balok}} &= \frac{1}{12} \times bw \times hw^3 \times k \\
 &= \frac{1}{12} \times 50 \times 70^3 \times 1,943 \\
 &= 2777130,62 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{pelat}} &= \frac{1}{12} \times L \times hf^3 \\
 &= \frac{1}{12} \times 720 \times 14^3 \\
 &= 164640 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\alpha = \frac{I_{\text{balok}}}{I_{\text{pelat}}} = \frac{2777130,62}{164640} = 16,87$$

4. Balok anak L = 720 cm (30/50) (Interior)



$$be_1 \leq bw + 2(8hf) = 30 + 2(8 \times 14) = 254 \text{ cm}$$

$$be_2 \leq bw + \left(2 \times \frac{1}{2} Ln \right) = 30 + \left(2 \times \frac{1}{2} \times 670 \right) = 700 \text{ cm}$$

Maka dipakai $be = 254 \text{ cm}$... (terkecil)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{hf}{hw}\right) + 4 \left(\frac{hf}{hw}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{254}{30} - 1\right) \left(\frac{14}{50}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{14}{50}\right) + 4 \left(\frac{14}{50}\right)^2 + \left(\frac{254}{30} - 1\right) \left(\frac{14}{50}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{254}{30} - 1\right) \left(\frac{14}{50}\right)}$$

$$k = 2,216$$

$$\begin{aligned} I_{\text{balok}} &= \frac{1}{12} \times bw \times hw^3 \times k \\ &= \frac{1}{12} \times 30 \times 50^3 \times 2,216 \\ &= 692473,71 \text{ cm}^4 \\ I_{\text{pelat}} &= \frac{1}{12} \times L \times hf^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 720 \times 14^3 \\ &= 164640 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\alpha = \frac{I_{\text{balok}}}{I_{\text{pelat}}} = \frac{692473,71}{164640} = 4,21$$

$$\text{Jadi, } \alpha_m = \frac{29,83 + 49,10 + 16,87 + 4,21}{4} = 25$$

Karena $\alpha_m > 2$ maka perletakan pelat adalah jepit penuh

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.3(c) yang mana $\alpha_m > 2$ maka ketebalan pelat minimum adalah:

$$h = \frac{\ell n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm

$$h = \frac{670 \left(0,8 + \frac{400}{1400} \right)}{36 + 9 \times 3,350} = 10,99 \text{ cm} \approx 14 \text{ cm}$$

Maka digunakan tebal pelat 14 cm

4.1.6 Perencanaan Dimensi Kolom

Perencanaan dimensi kolom yang tinjau adalah kolom yang mengalami pembebanan terbesar. Data-data yang diperlukan dalam menentukan dimensi kolom adalah sebagai berikut:

- Tebal pelat = 14 cm = 140 mm
- Tinggi tiap lantai = 4,2 m
- Dimensi balok induk = Tabel 4.1
- Dimensi balok anak = Tabel 4.2

Berdasarkan ASCE 7-2002 Tabel C3-1 dan SNI 03-1727-2013 Tabel 4.1, pembebanan seperti berikut ini:

a. Beban mati lantai 2-8 dan atap

Beban mati yang diterima oleh kolom adalah sebagai berikut:

Pelat	: 7,2x7,2x0,14x2360 kg/m ³ x8 lt	= 137023,49 kg
Balok Induk	: 7,2x0,40x0,70x2360kg/m ³ x8 lt	= 38062,08 kg
Balok anak	: 7,2x0,30x0,5x2360 kg/m ³ x8 lt	= 20390,40 kg
Aspal (1cm)	: 7,2x7,2x0,01x1400 kg/m ² x8 lt	= 5806,08 kg
Plafond	: 7,2x7,2x5 kg/m ² x8 lt	= 2073,60 kg
Penggantung	: 7,2x7,2x10 kg/m ² x8 lt	= 4147,20 kg
Plumbing	: 7,2x7,2x10 kg/m ² x8 lt	= 4147,20 kg
Spesi 25mm	: 7,2x7,2x0,025x4400 kg/m ³ x8 lt	= 45619,20 kg
Dinding	: (7,2+7,2) x4,20x0,15x600x8 lt	= 43545,60 kg
Sanitasi	: 7,2x7,2x20 kg/m ² x8 lt	= 8294,40 kg +
Beban Mati Total (DL)		= 309109,25 kg

b. Beban hidup

$$\begin{aligned}
 \text{Beban atap} &: 7,20 \times 7,20 \times 96 \text{ kg/m}^2 \times 1 \text{ lt} &= 4976,64 \text{ kg} \\
 \text{Beban lantai} &: 7,20 \times 7,20 \times 192 \text{ kg/m}^2 \times 7 \text{ lt} &= \underline{69672,96 \text{ kg}} \\
 \text{Berat Total (LL)} &= 74649,60 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Bedasarkan RSNI 03-1727-2013 Pasal 4.7.3 koefisien reduksi untuk beban hidup struktur yang menumpu dua lantai atau lebih sebesar 20%. Jadi total beban hidup:

$$\begin{aligned}
 \text{LL} &= 0,8 \times 74649,60 \\
 &= 59719,68 \text{ kg} \\
 \text{Jadi berat total} &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\
 &= 1,2 (309109,25) + 1,6 (59719,68) \\
 &= 466482,59 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.2 untuk komponen struktur yang terkena beban aksial dan beban aksial dengan lentur, faktor reduksi yang digunakan adalah $\phi = 0,65$. Setelah itu dapat diperkirakan luas dimensi kolom adalah sebagai berikut:

$$\text{Mutu beton} = 35 \text{ Mpa} = 35 \times 10 = 350 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Rencana Awal} \rightarrow A = \frac{W}{\phi f'_c} = \frac{466482,59}{0,65 \times 350} = 2050,47 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Misalkan } b = h, \text{ maka } b^2 &= 2050,47 \text{ cm}^2 \\
 b &= 45,2821 \text{ cm} \approx 80 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$A = b \times h$ dengan penampang persegi $b = h$, maka didapat dimensi kolom $h = 45,2821 \text{ cm}$, sehingga dimensi kolom $80 \times 80 \text{ cm}$ dapat memenuhi sebagai desain preliminary kolom. Jadi dimensi kolom digunakan **80/80 cm**.

4.2 Perencanaan Struktur Sekunder

4.2.1 Perencanaan Pelat

Desain tebal pelat direncanakan menggunakan ketebalan 14 cm dengan perincian tebal pelat pracetak 8 cm dan pelat cor setempat (*overtopping*) 6 cm. Peraturan yang digunakan untuk penentuan besar beban yang bekerja pada struktur pelat adalah SNI

03-1727-2013. Desain Pelat direncanakan pada beberapa keadaan, yaitu :

1. Sebelum Komposit

Keadaan ini terjadi pada saat awal pengecoran *topping* yaitu komponen pracetak dan komponen *topping* belum menyatu dalam memikul beban. Perletakan pelat dapat dianggap sebagai perletakan bebas.

2. Sesudah Komposit

Keadaan ini terjadi apabila *topping* dan elemen pracetak pelat telah bekerja bersama-sama dalam memikul beban. Perletakan pelat dianggap sebagai perletakan terjepit elastis.

Pada dasarnya, permodelan pelat terutama perletakan baik pada saat sebelum komposit dan setelah komposit adalah untuk perhitungan tulangan pelat. Pada saat sebelum komposit yaitu kondisi ketika pemasangan awal pelat, pelat diasumsikan tertumpu pada dua tumpuan. Sedangkan pada saat setelah komposit, perletakan pelat diasumsikan sebagai perletakan terjepit elastis.

Penulangan akhir nantinya merupakan penggabungan pada dua keadaan diatas. Selain tulangan untuk menahan beban gravitasi perlu juga diperhitungkan tulangan angkat yang sesuai pada pemasangan pelat pracetak.

4.2.1.1 Data Perencanaan

Data perencanaan yang digunakan untuk perencanaan pelat sesuai dengan preliminary desain adalah:

➤Tebal pelat	= 14 cm
➤Tebal pelat pracetak	= 8 cm
➤Tebal <i>Overtopping</i>	= 6 cm
➤Mutu beton (f'_c)	= 35 MPa
➤Mutu baja (f_y)	= 400 MPa
➤Diameter tulangan rencana	= 10 mm

4.2.1.2 Pembebanan Pelat Lantai

Sebelum komposit

Dalam pembebanan sebelum komposit akan diperhitungkan dua keadaan yaitu:

1. Berat orang yang bekerja dan peralatannya saat pemasangan pelat pracetak ataupun saat pengecoran *topping* dianggap sebagai beban kerja dan berat *topping*.
2. *Topping* telah terpasang tapi belum berkomposit dengan pelat pracetak, sehingga yang terjadi hanya beban *topping* saja.

Pada kedua keadaan ini diambil nilai yang paling kritis.

- Beban mati (DL)

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri} &= 0,08 \times 2360 = 188,8 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Berat } \textit{topping} &= 0,06 \times 2360 = \underline{141,6 \text{ kg/m}^2} + \\ \text{DL} &= 330,4 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

- Beban hidup (LL)

$$\begin{aligned} \text{Beban pekerja (2 orang)} &= 2 \times 100 = \underline{200 \text{ kg/m}^2} + \\ \text{LL} &= 200 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Setelah komposit

- Beban mati (DL)

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri} &= 0,14 \times 2360 = 330,4 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Plafon+penggantung} &= 5 + 10 \text{ kg/m}^2 = 15 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Dinding bata ringan} &= 0,15 \times 600 = 90 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Keramik+Spesi (25 mm)} &= 0,025 \times 4400 = 110 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Mechanical Duckting} &= 19 \text{ kg/m}^2 = \underline{19 \text{ kg/m}^2} + \\ \text{DL} &= 564,4 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

- Beban hidup (LL)

$$\begin{aligned} \text{Beban hidup pada lantai} & \quad \text{LL} = 192 \text{ kg} \end{aligned}$$

4.2.1.3 Pembebanan Pelat Atap

Sebelum komposit

- Beban mati (DL)

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri} &= 0,08 \times 2360 = 188,8 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Berat } \textit{topping} &= 0,06 \times 2360 = \underline{141,6 \text{ kg/m}^2} + \\ \text{DL} &= 330,4 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

- Beban hidup (LL)

$$\text{Beban pekerja (1 orang)} = 1 \times 100 = 100 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban Air Hujan} = 20 \text{ kg/m}^2 +$$

$$\text{LL} = 120 \text{ kg/m}^2$$

Setelah komposit

- Beban mati (DL)

$$\text{Berat sendiri} = 0,14 \times 2360 = 330,4 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Plafon+penggantung} = 5 + 10 \text{ kg/m}^2 = 15 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Aspal (t = 1 cm)} = 0,01 \times 1400 = 14 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Keramik+Spesi (25 mm)} = 0,025 \times 4400 = 110 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Mechanical Duckting} = 19 \text{ kg/m}^2 = 19 \text{ kg/m}^2 +$$

$$\text{DL} = 488,4 \text{ kg/m}^2$$

- Beban hidup (LL)

$$\text{Beban hidup pada atap} = 96 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban air hujan} = 20 \text{ kg/m}^2 +$$

$$\text{LL} = 116 \text{ kg/m}^2$$

4.2.1.4 Kombinasi pembebanan pelat

Kombinasi pembebanan yang digunakan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 9.2.1 didapatkan

$$Q_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

Berikut adalah perhitungan kombinasi pembebanan **pelat lantai**:

- Keadaan 1 sebelum komposit, ada beban kerja

$$Q_u = 1,2 (188,8) + 1,6 (200) = 546,56 \text{ kg/m}^2$$

- Keadaan 2 sebelum komposit, *topping* telah terpasang

$$Q_u = 1,2 (330,4) + 1,6 (0) = 396,48 \text{ kg/m}^2$$

- Keadaan 3, setelah komposit

$$Q_u = 1,2 (564,4) + 1,6 (192) = 984,48 \text{ kg/m}^2$$

Serta perhitungan kombinasi pembebanan **pelat atap**:

- Keadaan 1, ada beban kerja

$$Q_u = 1,2 (188,8) + 1,6 (120) = 418,56 \text{ kg/m}^2$$

- Keadaan 2, *topping* telah terpasang

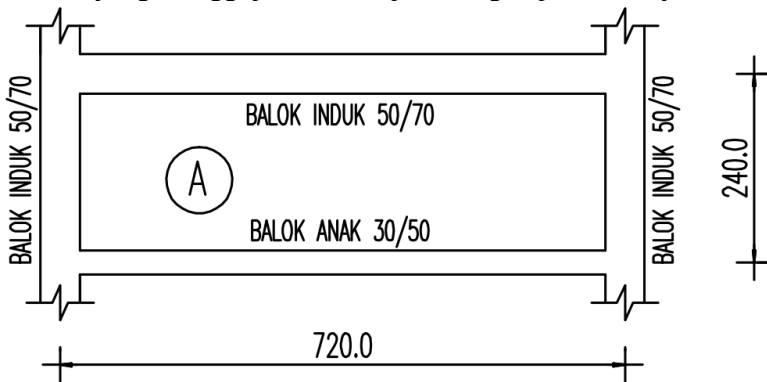
$$Q_u = 1,2 (330,4) + 1,6 (0) = 396,48 \text{ kg/m}^2$$

- Keadaan 3, setelah komposit

$$Q_u = 1,2 (488,4) + 1,6 (116) = 771,68 \text{ kg/m}^2$$

4.2.1.5 Perhitungan Tulangan Pelat

Perhitungan penulangan pelat akan direncanakan dalam dua tahap, yaitu tahap pertama penulangan sebelum komposit dan kedua adalah penulangan sesudah komposit. Lalu dipilih tulangan yang layak untuk digunakan yaitu dengan cara memperhitungkan tulangan yang paling kritis diantara kedua keadaan tersebut. Semua tipe pelat menggunakan tulangan yang sama untuk memudahkan pelaksanaan. Perhitungan pelat tipe A dengan dimensi 240 cm × 720 cm yang dianggap mewakili perhitungan pelat lainnya.

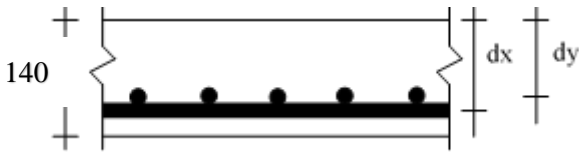


Gambar 4. 2 Pelat Tipe A (240 cm x 720 cm)

Data perencanaan untuk penulangan pelat:

- Menentukan data perencanaan penulangan pelat

Dimensi pelat	= 240 cm × 720 cm
Tebal pelat pracetak	= 80 mm
Tebal <i>overtopping</i>	= 60 mm
Tebal decking	= 20 mm
Diameter tulangan rencana	= 10 mm
Mutu tulangan baja (f_y)	= 400 MPa
Mutu beton (f'_c)	= 35 MPa



Gambar 4. 3 Potongan Pelat

- Kondisi sebelum komposit

$$dx = 80 - 20 - \frac{10}{2} = 55 \text{ mm}$$

$$dy = 80 - 20 - 10 - \frac{10}{2} = 45 \text{ mm}$$

- Kondisi sesudah komposit

$$dx = 140 - 20 - \frac{10}{2} = 115 \text{ mm}$$

$$dy = 140 - 20 - 10 - \frac{10}{2} = 105 \text{ mm}$$

- Menurut SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3 nilai β_1 ditentukan sebesar:

Tabel 4. 3 Tabel β_1

f'_c (Mpa)	28	35	42
	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
β_1	0,85	0,8	0,75

- Untuk mutu beton $f'_c = 35 \text{ MPa}$ berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3 harga dari β_1 adalah sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,8 + \frac{(30-28)}{(f'_c-28)} \times 0,05 \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,8 + \frac{(30-28)}{(35-28)} \times 0,05 \geq 0,65 = 0,81$$

Dengan demikian maka batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang diisyaratkan adalah sebagai berikut:

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 0,81 \times 35}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0363$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,0363 = 0,0273$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

$$L_y = 720 - \left(\frac{50}{2} + \frac{50}{2} \right) = 670 \text{ cm}$$

$$L_x = 240 - \left(\frac{30}{2} + \frac{50}{2} \right) = 200 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{L_y}{L_x} = \frac{670}{200} = 3,350 \geq 2 \text{ (pelat satu arah)}$$

Berdasarkan SNI 7833 – 2012 Gambar R4.6.2

$$\begin{aligned} \text{Panjang Landasan} &= \frac{L_n}{180} \geq 50 \text{ mm} \\ &= \frac{6700}{180} \geq 50 \text{ mm} \\ &= 37,22 \text{ mm} \leq 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan panjang landasan 50 mm

$$\begin{aligned} \text{Jadi, dimensi pracetak} &= 670 \text{ cm} + (5 \times 2) \times 200 + (5 \times 2) \\ &= 680 \text{ cm} \times 210 \text{ cm} \end{aligned}$$

Pada penulangan pelat satu arah hanya terdapat satu tulangan utama yaitu searah melintang pelat. Sedangkan tulangan yang terdapat pada arah memanjang pelat merupakan tulangan pembagi yang berfungsi untuk menahan susut dan suhu.

Penulangan utama pelat pada tumpuan sama dengan pada lapangan, tetapi letak tulangan tarikanya berbeda. Pada daerah tumpuan tulangan tarik berada di atas sedangkan pada daerah lapangan tulangan tarikanya berada di bawah. Tulangan lapangan

dan tulangan tumpuan baik tulangan utama maupun tulangan pembagi direncanakan menggunakan D10 (78,54 mm²)

4.2.1.6 Perhitungan Penulangan Pelat Sebelum Komposit

Menentukan momen (M_u) yang bekerja pada pelat dengan menggunakan koefisien PBI 1971 tabel 13.3.1 didapat persamaan momen untuk asumsi perletakan terletak beban pada keempat tepinya dan terjepit dikedua sisinya:

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{670}{200} = 3,350 \geq 2 \text{ (pelat satu arah)}$$

- $M_{ux}^{(+)} = M_{ux}^{(-)} = 0,001 Q_u L_x^2 x \rightarrow x = 83$
- $M_{uy}^{(+)} = M_{uy}^{(-)} = 0,001 Q_u L_y^2 y \rightarrow y = 57$

Pada pelat satu arah penulangan lentur hanya pada arah X (arah melintang pelat) sedangkan pada arah Y (arah memanjang pelat) merupakan tulangan pembagi.

- **Penulangan arah X (tulangan utama)**

$$\begin{aligned} M_{ux}^{(+)} = M_{ux}^{(-)} &= 0,001 \times 546,56 \times 2,0^2 \times 83 \\ &= 181,46 \text{ kgm} = 1814579,2 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Dipakai koefisien faktor reduksi: $\phi = 0,8$

$$R_n = \frac{M_n}{\phi \times b \times d x^2} = \frac{1814579,2}{0,8 \times 1000 \times 55^2} = 0,750$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 0,75}{400}} \right) = 0,00190 \end{aligned}$$

Syarat: $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,00350 > 0,00190 < 0,0273 \text{ (Tidak Memenuhi)}$$

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 10.5 (3) sebagai alternatif, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

$$\text{Maka } \rho \text{ diperbesar } 30\% \times \rho = 1,3 \times 0,00190 = 0,00247$$

dipakai $\rho = 0,00247$, sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times dx \\ = 0,00247 \times 1000 \times 55 = 135,76 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan maksimum, } S &\leq 3 \times \text{tebal pelat, maka:} \\ &\leq 3 \times 80 \\ &\leq 240 \text{ mm} \\ S &\leq 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{D10}}} \\ &= \frac{135,76}{78,54} = 1,73 \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan, } S = 1000/3 = 333 \text{ mm} > S_{\text{maks}} = 240 \text{ mm}$$

Maka diambil S pakai = 200 mm

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, } A_{s\text{pakai}} &= \text{Jumlah tulangan per meter} \times A_{s\text{D10}} \\ &= 3 \times 78,54 \\ &= 236 \text{ mm}^2 \\ &= 236 \text{ mm}^2 > A_{s\text{perlu}} = 135,76 \text{ mm}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1

$$A_{s\text{min}} = \frac{0,25 \sqrt{f_{c'}}}{f_y} b w dx = \frac{0,25 \sqrt{35}}{400} 1000 \times 55 = 203 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} b w dx = \frac{1,4}{400} 1000 \times 55 = 193 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{pakai}} = 236 \text{ mm}^2 > A_{s\text{min}} \text{ (Memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan lentur D10-200 mm

- Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{A_s}{b \times dx} = \frac{n \times A_{s\text{D10}}}{b \times dx} = \frac{3 \times 78,54}{1000 \times 55} = 0,00428 > \rho_{\text{perlu}} = 0,00247$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times b \times f_{c'}} = \frac{(n \times A_{s\text{D10}}) \times f_y}{0,85 \times b \times f_{c'}} = \frac{236 \times 400}{0,85 \times 1000 \times 35} = 3,17 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \phi \times A_s \times f_y \left(dx - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,8 \times 236 \times 400 \left(55 - \frac{3,17}{2} \right) \\
 &= 402,76 \text{ kgm} > M_u = 181,46 \text{ kgm} \dots\dots\dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Cek Penampang

$$\frac{a}{dx} = \frac{3,17}{55} = 0,058$$

$$\frac{c}{dx} = 0,375 \times \beta_1 = 0,375 \times 0,81 = 0,305$$

Maka, $a/dt < c/dt \dots\dots\dots \text{OK}$

- **Penulangan arah Y (tulangan bagi)**

Pada penulangan arah Y dipasang tulangan pembagi untuk menahan susut dan suhu dengan $\rho_{\min} = 0,002$ (SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.1)

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{perlu}}} &= 0,002 \times b \times d_y \\
 &= 0,002 \times 1000 \times 45 = 90 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.2 adalah:

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak tulangan maksimum, } S &\leq 5 \times \text{tebal pelat, maka:} \\
 &\leq 5 \times 80 \\
 &\leq 400 \text{ mm} \\
 S &\leq 450 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_s \text{ D10}} \\
 &= \frac{90}{78,54} = 1,1 \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan, } S = 1000/2 = 500 \text{ mm} > S_{\text{maks}} = 400 \text{ mm}$$

Maka digunakan S pakai = 400 mm

Sehingga, didapatkan:

$$\text{Jumlah tulangan (n) pakai} = \frac{1000}{400} = 2,50 \approx 3 \text{ buah}$$

Sehingga, As pakai = Jumlah tulangan per meter x AsD10
 $= 3 \times 78,54$
 $= 236 \text{ mm}^2$
 $= 236 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = 90 \text{ mm}^2 \text{ OK}$

Kontrol kebutuhan tulangan, dipakai tulangan D10-400

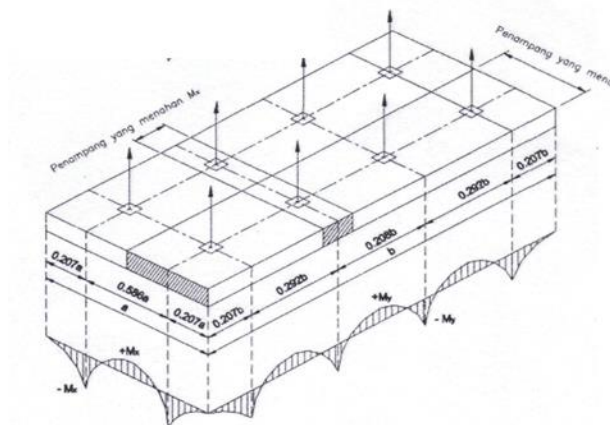
$$\text{As pakai} = \frac{\text{AsD10} \times b}{s \text{ pakai}} = \frac{78,54 \times 1000}{400} = 196 \text{ mm}^2$$

Syarat: As pakai > As perlu
 $196 \text{ mm}^2 > 90 \text{ mm}^2$ (memenuhi)

Maka digunakan tulangan susut D10-400 mm.

4.2.1.7 Penulangan Sebelum Komposit Akibat Pengangkatan

Dalam pemasangan pelat pracetak, perlu diingat bahwa pelat akan mengalami pengangkatan elemen (*erection*). Besarnya momen dan pengaturan jarak tulangan angkat sesuai dengan buku “*Precast and Prestressed Concrete*” seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4 dibawah ini dimana momen daerah tumpuan sama dengan momen daerah lapangan, yaitu:



Gambar 4. 4 Posisi Titik Angkat Pelat (8 buah titik angkat)

(Sumber: *PCI Design Handbook 6th Edition Precast and Prestressed Concrete*)

$$M_x = 0,0054 \times w \times a^2 \times b$$

$$M_y = 0,0027 \times w \times a \times b^2$$

Pada pelat tipe A: 240×720 cm ($L_x = 200$ cm, $L_y = 670$ cm)

Ditentukan $a = 2,00$ m dan $b = 6,7$ m

Dengan $w = (0,08 \times 2360) = 188,8$ kg/m

Maka:

$$M_x = 0,0054 \times 188,8 \times 2,00^2 \times 6,7 = 27,323 \text{ kgm}$$

$$M_y = 0,0027 \times 188,8 \times 2,00 \times 6,7^2 = 45,766 \text{ kgm}$$

• **Penulangan arah X (tulangan utama)**

$$M_u = 27,323 \text{ kgm} = 273231,36 \text{ Nmm}$$

Dipakai koefisien faktor reduksi: $\phi = 0,8$

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times 1000 \times d x^2} = \frac{273231,36}{0,8 \times 1000 \times 55^2} = 0,11$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 0,11}{400}} \right) = 0,00028 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,00350 > 0,00028 < 0,0273 \text{ (**Tidak Memenuhi**)}$$

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 10.5 (3) sebagai alternatif, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

$$\text{Maka } \rho \text{ diperbesar } 30\% \times \rho = 1,3 \times 0,00028 = 0,00037$$

dipakai $\rho = 0,00037$, sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{S\text{perlu}} &= \rho \times b \times d x \\ &= 0,0037 \times 1000 \times 55 = 20,22 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah:

$$\begin{aligned}\text{Jarak tulangan maksimum, } S &\leq 3 \times \text{tebal pelat, maka:} \\ &\leq 3 \times 80 \\ &\leq 240 \text{ mm} \\ S &\leq 450 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{sD10}} \\ &= \frac{20,22}{78,54} = 0,26 \approx 3 \text{ buah}\end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan, } S = 1000/3 = 333 \text{ mm} > S_{\text{maks}} = 240 \text{ mm}$$

Maka diambil S pakai = 200 mm

$$\begin{aligned}\text{Sehingga, } A_{s \text{ pakai}} &= \text{Jumlah tulangan per meter} \times A_{sD10} \\ &= 3 \times 78,54 \\ &= 236 \text{ mm}^2 \\ &= 236 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ perlu}} = 20,22 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}\end{aligned}$$

Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1

$$A_{s \text{ min}} = \frac{0,25 \sqrt{f_{c'}}}{f_y} b w d x = \frac{0,25 \sqrt{35}}{400} 1000 \times 55 = 203 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{1,4}{f_y} b w d x = \frac{1,4}{400} 1000 \times 55 = 193 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ pakai}} = 236 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ min}} \text{ (Memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan lentur D10-300 mm.

- Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d x} = \frac{n \times A_{sD10}}{b \times d x} = \frac{3 \times 78,54}{1000 \times 55} = 0,00428 > \rho_{\text{perlu}} = 0,00037$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times b \times f_{c'}} = \frac{(n \times A_{sD10}) \times f_y}{0,85 \times b \times f_{c'}} = \frac{236, \times 400}{0,85 \times 1000 \times 35} = 3,17 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}M_n &= \phi \times A_s \times f_y \left(d x - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 236 \times 400 \left(55 - \frac{3,17}{2} \right) \\ &= 402,761 \text{ kgm} > M_u = 54,14 \text{ kgm} \dots\dots\dots \text{OK}\end{aligned}$$

- Cek Penampang

$$\frac{a}{dx} = \frac{3,17}{55} = 0,058$$

$$\frac{c}{dx} = 0,375 \times \beta_1 = 0,375 \times 0,81 = 0,305$$

Maka, $a/dt < c/dt$ OK

- Penulangan arah Y (tulangan susut)

$$Mu = 45,766 \text{ kgm} = 457662,528 \text{ Nmm}$$

Dipakai koefisien faktor reduksi: $\phi = 0,8$

$$Rn = \frac{Mu}{0,8 \times 1000 \times dy^2} = \frac{457662,528}{0,8 \times 1000 \times 45^2} = 0,28$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 0,28}{400}} \right) = 0,00071 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat: } \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\ 0,00350 &> 0,00071 < 0,0273 \text{ (Tidak Memenuhi)} \end{aligned}$$

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 10.5 (3) sebagai alternatif, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

$$\text{Maka } \rho \text{ diperbesar } 30\% \times \rho = 1,3 \times 0,00071 = 0,00092$$

dipakai $\rho = 0,00092$, sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times dy \\ &= 0,00092 \times 1000 \times 45 = 41,51 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.2 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan maksimum, } S &\leq 5 \times \text{tebal pelat, maka:} \\ &\leq 5 \times 80 \\ &\leq 400 \text{ mm} \\ S &\leq 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ D10}}} \\ &= \frac{41,51}{78,54} = 0,53 \approx 3 \text{ buah}\end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan, } S = 1000/3 = 333 \text{ mm} > S_{\text{maks}} = 400 \text{ mm}$$

Maka diambil S pakai = 300 mm

$$\begin{aligned}\text{Sehingga, } A_{s \text{ pakai}} &= \text{Jumlah tulangan per meter} \times A_{s \text{ D10}} \\ &= 3 \times 78,54 \\ &= 236 \text{ mm}^2 \\ &= 236 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ perlu}} = 41,51 \text{ mm}^2 \text{ OK}\end{aligned}$$

Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1

$$A_{s \text{ min}} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b w d y = \frac{0,25 \sqrt{35}}{400} 1000 \times 45 = 166 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{1,4}{f_y} b w d y = \frac{1,4}{400} 1000 \times 45 = 158 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ pakai}} = 236 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ min}} \text{ (Memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan susut D10-300 mm.

- Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d y} = \frac{n \times A_{s \text{ D10}}}{b \times d y} = \frac{3 \times 78,54}{1000 \times 45} = 0,00524 > \rho_{\text{perlu}} = 0,00092$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times b \times f_c'} = \frac{(n \times A_{s \text{ D10}}) \times f_y}{0,85 \times b \times f_c'} = \frac{236 \times 400}{0,85 \times 1000 \times 35} = 3,17 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}M_n &= \phi \times A_s \times f_y \left(d y - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 236 \times 400 \left(45 - \frac{3,17}{2} \right) \\ &= 327,360 \text{ kgm} > M_u = 45,77 \text{ kgm} \dots\dots\dots \text{OK}\end{aligned}$$

- Cek Penampang

$$\frac{a}{d y} = \frac{3,17}{45} = 0,070$$

$$\frac{c}{dy} = 0,375 \times \beta_1 = 0,375 \times 0,81 = 0,305$$

Maka, $a/dt < c/dt$ OK

4.2.1.8 Penulangan Pelat Sesudah Komposit

$$Q_u = 984,48 \text{ kg/m}^2$$

$$d_x = 115 \text{ mm}$$

$$d_y = 105 \text{ mm}$$

Menentukan momen (M_u) yang bekerja pada pelat dengan menggunakan koefisien PBI 1971 tabel 13.3.1 didapat persamaan momen untuk asumsi perletakan terletak beban pada keempat tepinya dan terjepit dikedua sisinya:

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{670}{200} = 3,350 \geq 2 \text{ (pelat satu arah)}$$

$$\bullet \text{ Mul}_x^{(+)} = \text{Mut}_x^{(-)} = 0,001 Q_u L_x^2 x \rightarrow x = 83$$

$$\bullet \text{ Muly}^{(+)} = \text{Mut}_y^{(-)} = 0,001 Q_u L_y^2 y \rightarrow y = 57$$

Pada pelat satu arah penulangan lentur hanya pada arah X (arah melintang pelat) sedangkan pada arah Y (arah memanjang pelat) merupakan tulangan pembagi.

• Penulangan arah X (tulangan utama)

$$\begin{aligned} \text{Mul}_x^{(+)} = \text{Mut}_x^{(-)} &= 0,001 \times 984,48 \times 2,0^2 \times 83 \\ &= 326,85 \text{ kgm} = 3268473,6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Dipakai koefisien faktor reduksi: $\phi = 0,8$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d_x^2} = \frac{3268473,6}{0,8 \times 1000 \times 115^2} = 0,309$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 0,309}{400}} \right) = 0,00078 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,00350 > 0,00078 < 0,0273 \text{ (Tidak Memenuhi)}$$

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 10.5 (3) sebagai alternatif, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

Maka ρ diperbesar 30% $\times \rho = 1,3 \times 0,00078 = 0,00101$
 dipakai $\rho = 0,00101$, sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times dx \\ &= 0,00101 \times 1000 \times 115 = 116,07 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan maksimum, } S &\leq 3 \times \text{tebal pelat, maka:} \\ &\leq 3 \times 140 \\ &\leq 420 \text{ mm} \\ S &\leq 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s \text{ D10}}} \\ &= \frac{116,07}{78,54} = 1,48 \approx 6 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan, } S = 1000/6 = 166,67 \text{ mm} < S_{\text{maks}} \dots \text{ (OK)}$$

Maka diambil S pakai = 150 mm

Sehingga, $A_{s \text{ pakai}} = \text{Jumlah tulangan per meter} \times A_{s \text{ D10}}$

$$= 6 \times 78,54$$

$$= 471 \text{ mm}^2$$

$$= 471 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ perlu}} = 116,07 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1

$$A_{s \text{ min}} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b w dx = \frac{0,25 \sqrt{35}}{400} 1000 \times 115 = 425 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{1,4}{f_y} b w dx = \frac{1,4}{400} 1000 \times 115 = 403 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ pakai}} = 471 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ min}} \text{ (Memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan lentur D10-150 mm.

- Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{A_s}{b \times dx} = \frac{n \times AsD10}{b \times dx} = \frac{6 \times 78,54}{1000 \times 115} = 0,0041 > \rho_{\text{perlu}} = 0,00101$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times b \times f_{c'}} = \frac{(n \times AsD10) \times f_y}{0,85 \times b \times f_{c'}} = \frac{471,8 \times 400}{0,85 \times 1000 \times 35} = 6,34 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \phi \times A_s \times f_y \left(dx - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 471 \times 400 \left(115 - \frac{6,34}{2} \right) \\ &= 1686,443 \text{ kgm} > M_u = 326,85 \text{ kgm} \dots\dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

- Cek Penampang

$$\frac{a}{dx} = \frac{6,34}{115} = 0,055$$

$$\frac{c}{dx} = 0,375 \times \beta_1 = 0,375 \times 0,81 = 0,305$$

Maka, $a/dt < c/dt \dots\dots\dots \text{OK}$

- Penulangan arah Y (tulangan bagi)

Pada penulangan arah Y dipasang tulangan pembagi untuk menahan susut dan suhu dengan $\rho_{\min} = 0,002$ (SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.1)

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= 0,002 \times b \times d_y \\ &= 0,002 \times 1000 \times 105 = 210 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.2 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan maksimum, } S &\leq 5 \times \text{tebal pelat, maka:} \\ &\leq 5 \times 140 \\ &\leq 700 \text{ mm} \\ S &\leq 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_s \text{ D10}} \\ &= \frac{210}{78,54} = 2,67 \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan, } S = 1000/3 = 333 \text{ mm} < S_{\text{maks}} \dots\dots (\text{OK})$$

Maka digunakan S pakai = 300 mm

Sehingga, didapatkan:

$$\text{Jumlah tulangan (n) pakai} = \frac{1000}{300} = 3,33 \approx 4 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, As pakai} &= \text{Jumlah tulangan per meter} \times \text{AsD10} \\ &= 4 \times 78,54 \\ &= 314 \text{ mm}^2 \\ &= 314 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = 210 \text{ mm}^2 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Kontrol kebutuhan tulangan, dipakai tulangan D10-300

$$\text{As pakai} = \frac{\text{AsD10} \times b}{S \text{ pakai}} = \frac{78,54 \times 1000}{300} = 262 \text{ mm}^2$$

Syarat: As pakai > As perlu

$$262 \text{ mm}^2 > 210 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan susut D10-300 mm.

4.2.1.9 Penulangan Overtopping

- **Penulangan arah X dan Y**

Pada saat melakukan pengecoran *overtopping* pada lantai tersebut digunakan tulangan susut arah memanjang dan melintang pelat. penulangan ini dipasang untuk menahan susut dan suhu dengan $\rho_{\min} = 0,002$ (SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.1)

$$\begin{aligned} \text{As}_{\text{perlu}} &= 0,002 \times b \times d_y \\ &= 0,002 \times 1000 \times 45 = 90 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.2 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan maksimum, S} &\leq 5 \times \text{tebal pelat, maka:} \\ &\leq 5 \times 60 \\ &\leq 300 \text{ mm} \\ S &\leq 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, n} &= \frac{\text{As}_{\text{perlu}}}{\text{As D10}} \\ &= \frac{90}{78,54} = 1,15 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan, S} = 1000/2 = 500 \text{ mm} > S_{\text{maks}} = 300 \text{ mm}$$

Maka digunakan S pakai = 300 mm

Sehingga, didapatkan:

$$\text{Jumlah tulangan (n) pakai} = \frac{1000}{300} = 3,33 \approx 4 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, As pakai} &= \text{Jumlah tulangan per meter} \times \text{AsD10} \\ &= 4 \times 78,54 \\ &= 314 \text{ mm}^2 \\ &= 314 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = 90 \text{ mm}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

Kontrol kebutuhan tulangan, dipakai tulangan D10-300

$$\text{As pakai} = \frac{\text{AsD10} \times b}{S \text{ pakai}} = \frac{78,54 \times 1000}{300} = 262 \text{ mm}^2$$

Syarat: $\text{As pakai} > \text{As perlu}$

$$262 \text{ mm}^2 > 90 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan susut D10-300 mm.

4.2.1.10 Penulangan Stud Pelat Lantai

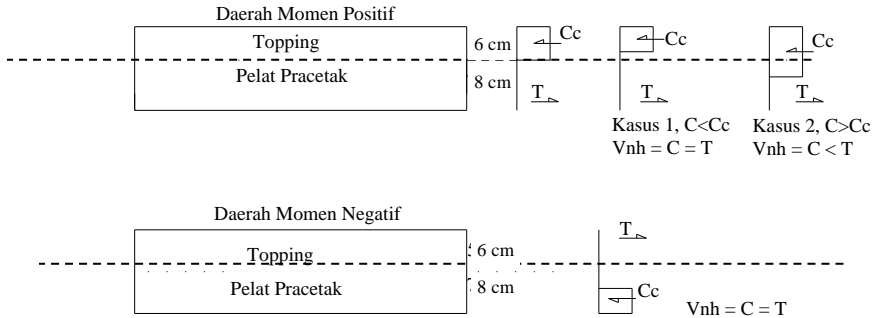
Pada perencanaan yang memakai elemen pracetak dan *topping cor* ditempat maka transfer gaya regangan horisontal yang terjadi harus dapat dipastikan mampu dipikul oleh seluruh penampang, baik oleh elemen pracetak maupun oleh *topping cor* ditempat. Untuk mengikat elemen pracetak dan elemen cor ditempat maka dipakai tulangan *stud*.

Stud ini berfungsi sebagai sengkang pengikat antar elemen sehingga mampu mentransfer gaya-gaya dalam yang bekerja pada penampang tekan menjadi gaya geser horisontal yang bekerja pada permukaan pertemuan antara kedua elemen komposit dalam memikul beban.

Dalam SNI disebutkan bahwa gaya geser horisontal bisa diperiksa dengan jalan menghitung perubahan aktual dari gaya tekan dan gaya tarik didalam sembarang segmen dan dengan menentukan bahwa gaya tersebut dipindahkan sebagai gaya geser horisontal elemen – elemen pendukung.

Gaya geser horisontal yang terjadi pada penampang komposit ada dua macam kasus :

- Kasus 1 : gaya tekan elemen komposit kurang dari gaya tekan elemen cor setempat
- Kasus 2 : gaya tekan elemen komposit lebih dari gaya tekan elemen cor setempat



Gambar 4. 5 Diagram Gaya Geser Horizontal Penampang Komposit

- Perhitungan stud pelat 240 cm × 720 cm

$$\begin{aligned}
 C_c &= 0,85 f_c' A_{topping} \\
 &= 0,85 \times 35 \times 60 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm} \\
 &= 1785000 \text{ N} = 1785 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Dipakai stud 2Ø10 mm

$$A_s = 2x \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 V_{nh} &= C = T \\
 &= A_s \times f_y \\
 &= 157,08 \times 240 = 37699,20 \text{ N} = 37,70 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0,55A_c &= 0,55 \times b_v \times d_x \\
 &= 0,55 \times 1000 \times 115 \\
 &= 63250 \text{ N} = 63,25 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$V_{nh} < 0,55b_v.d_x \dots\dots\dots(\text{OK})$$

$$37,70 \text{ kN} < 63,25 \text{ kN} \dots\dots\dots(\text{OK})$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 17.5.3.1, Bila dipasang sengkang pengikat minimum sesuai dengan 17.6 dan bidang kontakannya bersih dan bebas dari serpihan tapi tidak dikasarkan, maka kuat geser V_{nh} tidak boleh diambil lebih dari $0,55b_v.d$ dalam Newton. Pasal 17.6.1 berbunyi bahwa bila pengikat sengkang dipasang untuk menyalurkan geser horisontal, luas pengikat sengkang tidak boleh kurang luas daripada luas yang diperlukan oleh 11.4.6.3, dan spasi pengikat tidak boleh melebihi empat kali dimensi terkecil elemen yang ditumpu, atau melebihi 600 mm.

$$S_{maks} = 4 \times 60 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

$$S \leq 600 \text{ mm}$$

maka, $S_{pakai} = 200 \text{ mm}$

SNI 03-2847-2013 Pasal 11.4.6.3:

$$A_{v_{min}} = 0,062 \sqrt{f'_c} \frac{b_w \times s}{f_y}$$

$$= 0,062 \sqrt{35} \frac{1000 \times 200}{240} = 305,664 \text{ mm}^2$$

$$A_v \geq (0,35b_w.S)/f_y = (0,35 \times 1000 \times 200)/240 = 291,667 \text{ mm}^2$$

$$305,664 \geq 291,667 \text{ (memenuhi)}$$

$$\text{maka, } A_{v_{min}} = 305,664 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan $2\emptyset 10$ dengan $A_v = 157,08 \text{ mm}^2$

Maka dipasang stud (*shear connector*) $\emptyset 10$ -500 mm ($A_v = 314,16 \text{ mm}^2$).

4.2.1.11 Kontrol Retak

Pada SNI 2847:2013 pasal 10.6.4: spasi tulangan terdekat ke muka tarik, s , tidak boleh melebihi yang diberikan oleh:

$$s = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5C_c \leq 300 \left(\frac{280}{f_s} \right)$$

dimana:

$$\begin{aligned} C_c &= \text{jarak terkecil dari permukaan tulangan ke muka tarik} \\ &= \text{decking} + \phi \text{ sengkang} + \frac{1}{2} \phi \text{ tulangan} \\ &= 20 + 10 + \frac{1}{2} \times 10 = 35 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_s &= 2/3 f_y \\
 &= 2/3 \times 400 \\
 &= 266,67 \text{ MPa} \\
 s &= 380 \left(\frac{280}{266,67} \right) - 2,5 \times 35 \leq 300 \left(\frac{280}{266,67} \right) \\
 &= 311,5 \leq 315 \dots\dots\dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

4.2.1.12 Panjang Penyaluran Tulangan Pelat

Panjang penyaluran harus disediakan cukup untuk tulangan pelat sebelum dan sesudah komposit. Panjang penyaluran didasarkan pada SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1 dan pasal 12.5.2:

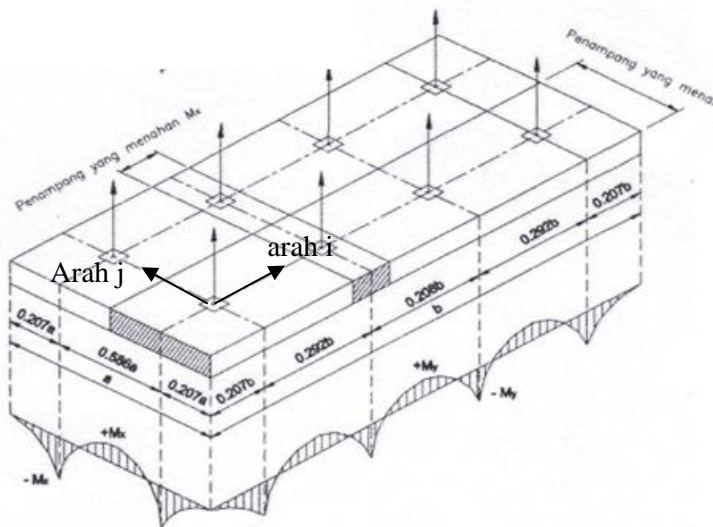
- $l_{dh} \geq 8 d_b = 8 \times 10 = 80 \text{ mm}$
(SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1)
- $l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$
(SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1)
- $l_{dh} = (0,24 f_y \sqrt{f'_c}) / d_b$ (SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.2)
 $= (0,24 \times 400 \times \sqrt{35}) / 10 = 56,79 \text{ mm}$

Maka dipakai panjang penyaluran terbesar yaitu 150 mm.

4.2.1.13 Perhitungan Tulangan Angkat dan Strand

Dalam pemasangan pelat pracetak, pelat akan mengalami pengangkatan sehingga perlu direncanakan tulangan angkat untuk pelat. Contoh perhitungan akan diambil pelat tipe A dengan dimensi 240 cm x 720 cm dengan delapan titik pengangkatan (*eight point pick up*).

a) Perhitungan Tulangan Angkat Pelat



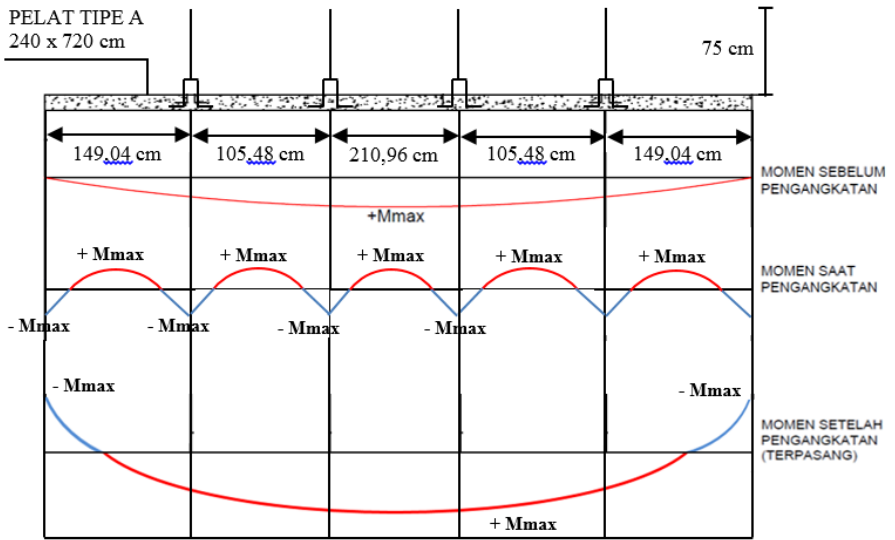
Gambar 4. 6 Posisi Titik Angkat Pelat (8 buah titik angkat)
(Sumber: PCI Design Handbook 6th Edition Precast and Prestressed Concrete)

- Gaya akibat pengangkatan akan ditransformasikan kedua arah horizontal, yaitu arah i dan j.
 - Tinggi pengangkatan dari muka pelat diambil 75 cm
 - Pada perhitungan beban ultimate ditambahkan koefisien kejut ($k = 1,2$) pada saat pengangkatan.
 - Beban mati:
 - Berat pelat pracetak:

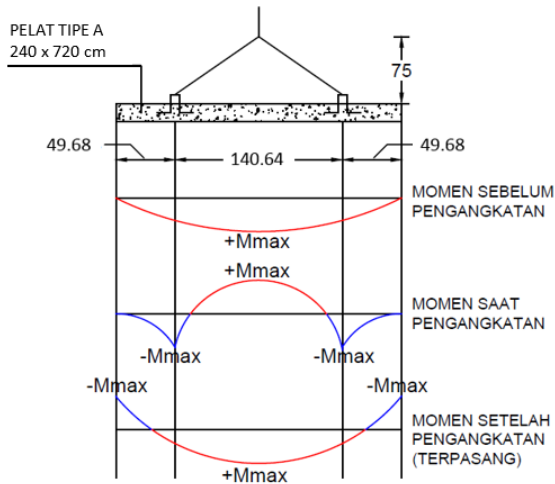
$$= 0,08 \times 2,4 \times 7,2 \times 2360 = 3262,46 \text{ kg}$$
 - Stud + Tulangan Angkat:

$$= 10\% \times 3262,46 = 326,246 \text{ kg}$$
- Total:** $3262,46 \text{ kg} + 326,246 = 3588,71 \text{ kg}$

b) Pengangkatan Pelat Tipe A



Gambar 4. 7 Momen Pengangkatan Pelat Arah i



Gambar 4. 8 Momen Pengangkatan Pelat Arah j

Dalam hal ini dianggap ada 2 orang pekerja yang ikut serta diatas pelat untuk mengatur dan mengarahkan posisi pelat, maka $LL = 100 \times 2 = 200 \text{ kg}$.

$$\begin{aligned}\text{Beban ultimate} &= (1,2 \times 1,2 \times 3588,71) + (1,2 \times 1,6 \times 200) \\ &= 5551,74 \text{ kg}\end{aligned}$$

Sesuai *PCI Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete*, fig. 8.3.4. Terdapat 8 titik angkat dan terdapat sudut pengangkatan sebesar 45° sehingga harus dikalikan faktor $F = 1,41$

Gaya angkat (Tu) setiap tulangan (beban yang diterima 1 titik angkat):

$$P = \frac{5551,74}{8} \times 1,41 = 978,49 \text{ kg}$$

Menurut SNI 2847-2013 pasal 10.6.4 untuk tegangan ijin dasar pada baja (f_s) diambil sebesar $\frac{2}{3} f_y$.

$$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} 400 = 266,667 \text{ MPa} = 2666,67 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_s = \frac{P}{f_s} = \frac{978,49 \text{ kg}}{2666,67 \text{ kg/cm}^2} = 0,367 \text{ cm}^2$$

Dicoba tulangan angkat $\emptyset 10 \text{ mm}$

$$A_s \text{ pakai} = 78,54 \text{ mm}^2 = 0,7854 \text{ cm}^2 > 0,367 \text{ cm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi dipakai tulangan angkat $\emptyset 10 \text{ mm}$

SNI 2847 2013 pada lampiran D dijelaskan bahwa dalam pendesainan tulangan angkur, tarik pada angkur harus lebih kecil dibanding kekuatan nominal.

- Tulangan angkur = 10 mm
- Jumlah angkur = 8 buah
- Faktor sling 60° = 1,16
- Faktor kejut = 1,5

$W' = \text{Beban ultimate} \times \text{Faktor sling } 60^\circ \times \text{Faktor kejut}$

$$W' = 5551,74 \text{ kg} \times 1,16 \times 1,5$$

$$W' = 9660,03 \text{ kg}$$

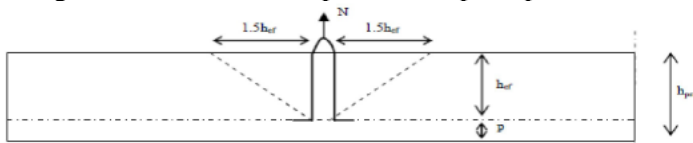
Dengan asumsi, jika setiap tulangan angkur dapat menerima beban total pada komponen pracetak, sehingga:

$$N_n = W / n = 9660,03 / 8 = 1207,504 \text{ kg} = 12075,04 \text{ N}$$

Menurut SNI 2847-2013 Lampiran D.5.2.2 kedalaman angkur dalam keadaan tarik ($k_c = 10$, angkur cor di dalam) maka:

$$h_{ef} = \sqrt[3]{\left(\frac{N_n}{k_c \sqrt{f_{cr}}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{12075,04}{10 \sqrt{35}}\right)^2} = 34,666 \text{ mm} \approx 35 \text{ mm}$$

Dari perhitungan tersebut maka tulangan angkat (angkur) dipasang sedalam 35 mm dari permukaan pelat pracetak



Gambar 4. 9 Pengangkuran Tulangan Angkat Pelat Pracetak
(*PCI Precast and Prestressed Concrete 7th figure 6.5.1*)

Panjang tulangan angkur setidaknya mencapai garis retak yang terjadi saat beton terjadi jebol (*breakout*) yang terbesar dari:

$$de = \frac{h_{ef}}{\tan 35^\circ} = \frac{35}{\tan 35^\circ} = 49,985 \text{ mm}$$

$$de = 1,5 h_{ef} = 1,5 \times 35 = 52,5 \text{ mm}$$

Maka digunakan $de = 52,5 \approx 55 \text{ mm}$

c) Menghitung Kebutuhan Strand

$P = 978,49 \text{ kg}$ (beban 1 titik angkat)

Berdasarkan *PCI Handbook 6th Edition Precast and Prestressed Concrete* tabel *Design Aid 11.2.3 Properties and Design Strengths of Prestressing Strand and Wire*. Maka digunakan *Seven Wire Strand* dengan spesifikasi dibawah ini:

Diameter	= 1/4 in	= 6,35 mm
fpu	= 250 ksi	= 1724 MPa
A	= 0,036 in	= 23,36 mm ²
F strand	= 1724 x 23,36 = 40272,64 kg	

Maka gaya yang dipikul 1 Strand = 40272,64 / 8
= 5034,08 kg

Kontrol: $P < F \text{ strand}$

978,49 kg < 5034,08 kg (memenuhi)

Jadi dipakai *Seven Wire Strand* diameter 1/4 in (fpu = 250 ksi)

4.2.1.14 Kontrol Pelat Pracetak

a) Kontrol Tulangan Angkat dan Tegangan Akibat Pengangkatan

Pengangkatan pelat pracetak dilakukan dengan 8 titik angkat pada saat umur 3 hari, sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah:

$$f_{\text{pelat}} < f_{\text{cr}}$$

$$f_{\text{ci}} (3 \text{ hari}) = 0,46 \times 35 \text{ MPa} = 16 \text{ MPa}$$

fcr untuk beton 3 hari adalah

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f_c'} = 0,7 \times \sqrt{16} = 2,81 \text{ MPa}$$

Berdasarkan *PCI Design Handbook, Precast and Prestress Concrete, Fourth Edition, 1992* momen maksimum diperhitungkan

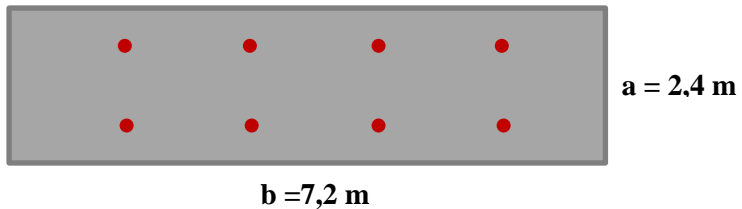
Berdasarkan gambar diatas:

- Arah i sama dengan arah y
- Arah j sama dengan arah x

Pada saat pengangkatan ditambahkan koefisien beban = 1,2

$$w = 1,2 \times (t_{\text{pelat}} \times 2360 \text{ kg/m}^3)$$

$$w = 1,2 \times (0,08 \times 2360) = 226,56 \text{ kg/m}^2$$



Gambar 4. 10 Posisi Titik Angkat Pelat Pracetak

- Tegangan arah Y (panjang)

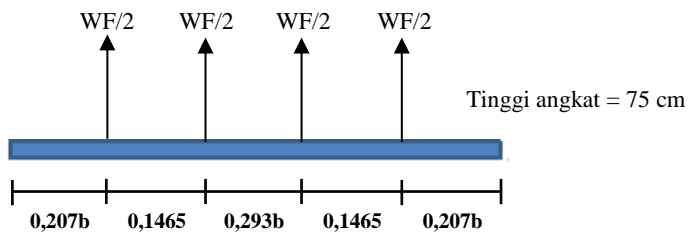
$$+ M_y = - M_y = 0,0027 \times w \times a \times b^2$$

$$= 0,0027 \times 226,56 \times 2,4 \times 7,2^2$$

$$= 76,11 \text{ kgm}$$

Sesuai *PCI Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete*, fig. 8.3.4. Terdapat 8 titik angkat dan terdapat sudut pengangkatan sebesar 45° sehingga harus dikalikan faktor $F = 1,41$

Momen tambahan akibat sudut pengangkatan (45°)



$$y_c = 0,5 \times \text{tebal pelat pracetak}$$

$$y_c = 0,5 \times 0,08 = 0,04 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 My' &= \left(\frac{P \times yc}{tg 45} \right) = \left(\frac{(wxaxb) \times yc}{tg 45} \right) \\
 &= \left(\frac{(226,56 \times 2,4 \times 7,2) \times 0,04}{tg 45} \right) = 156,598 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Faktor kejut = 1,5

$$My_{tot} = 1,5 (My' + My)$$

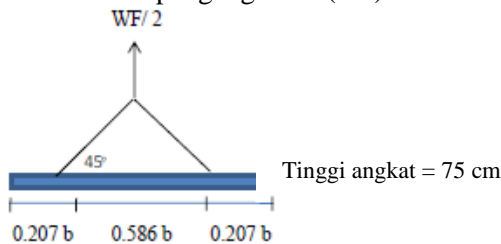
$$My_{tot} = 1,5 (156,598 + 76,11) = 349,06 \text{ kgm}$$

- Tegangan arah X (pendek)

$$\begin{aligned}
 + M_x &= - M_x = 0,0054 \times w \times a^2 \times b \\
 &= 0,00054 \times 226,56 \times 2,4^2 \times 7,2 \\
 &= 50,74 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Sesuai *PCI Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete*, fig. 8.3.4. Terdapat 8 titik angkat dan terdapat sudut pengangkatan sebesar 45° sehingga harus dikalikan faktor $F = 1,41$

Momen tambahan akibat sudut pengangkatan (45°)



$$yc = 0,5 \times \text{tebal pelat pracetak}$$

$$yc = 0,5 \times 0,08 = 0,04 \text{ m}$$

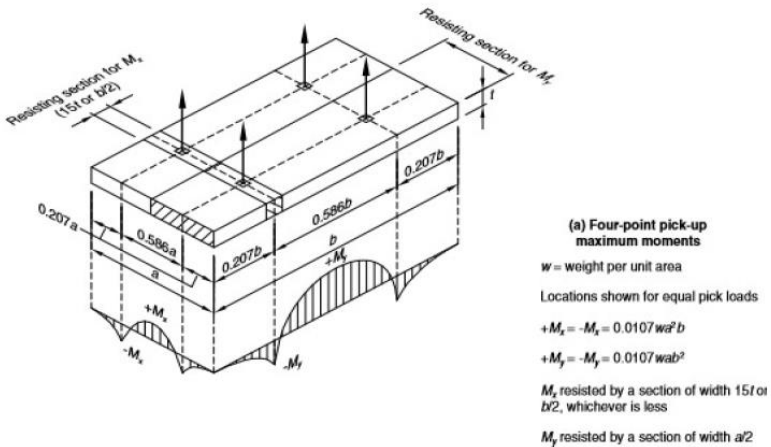
$$\begin{aligned}
 Mx' &= \left(\frac{P \times yc}{tg 45} \right) = \left(\frac{(wxaxb) \times yc}{tg 45} \right) \\
 &= \left(\frac{(226,56 \times 2,4 \times 7,2) \times 0,04}{tg 45} \right) = 156,598 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Faktor kejut = 1,5

$M_{x_{tot}} = 1,5 (M_x' + M_x)$

$M_{x_{tot}} = 1,5 (156,598 + 50,74) = 311 \text{ kgm}$

- Menghitung momen tahanan



Sesuai *PCI Design Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete*,

- M_y ditahan oleh penampang selebar $a/2 = 240/2 = 120 \text{ cm}$

$$W_y = \frac{1}{6} \times \frac{a}{2} \times t^2$$

$$W_y = \frac{1}{6} \times 120 \times 8^2 = 1280 \text{ cm}^3$$

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f_c'} = 0,7 \times \sqrt{16} = 2,81 \text{ MPa}$$

$$f_t = f_b = \frac{M_{y_{tot}}}{W_y} = \frac{349,06 \times 10^4}{1280 \times 10^3}$$

$$= 2,73 \text{ Mpa} < f_r = 2,81 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{OK}$$

- M_x ditahan oleh penampang selebar $15t = 120 \text{ cm}$ atau $b/2 = 360 \text{ cm}$

Ambil terkecil = 120 cm

$$W_x = \frac{1}{6} \times 15t \times t^2$$

$$W_x = \frac{1}{6} \times 120 \times 8^2 = 1280 \text{ cm}^3$$

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f_c'} = 0,7 \times \sqrt{16} = 2,81 \text{ MPa}$$

$$f_t = f_b = \frac{Mx_{tot}}{W_x} = \frac{311 \times 10^4}{1280 \times 10^3} = 2,43 \text{ MPa} < f_r = 2,81 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{OK}$$

b) Kontrol Tegangan Saat Penumpukan

Penumpukan pelat pracetak dilakukan dengan 5 tumpuan pada saat umur 3 hari, sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah:

$$f_{ci} \text{ (3 hari)} = 0,46 \times 35 \text{ MPa} = 16 \text{ MPa}$$

f_{cr} untuk beton 3 hari adalah

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f_c'} = 0,7 \times \sqrt{16} = 2,81 \text{ MPa}$$

Pada saat pemasangan ditambahkan koefisien beban = 1,2 sehingga berat sendiri pelat:

$$Q_d = 1,2 \times (t_{\text{pelat}} \times a \times 2360 \text{ kg/m}^3)$$

$$Q_d = 1,2 \times (0,08 \times 2,4 \times 2360)$$

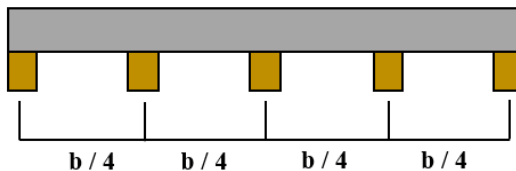
$$Q_d = 543,74 \text{ kg/m}^2$$

$$P_u = 1,6 \times (100 \text{ kg} \times 2) = 320 \text{ kg}$$

$$W = 1/6 \times a \times t^2 = 1/6 \times 240 \times 8^2 = 2560 \text{ cm}^3$$

$$L = b / 4 = 7,2 \text{ m} / 4 = 1,8 \text{ m}$$

Penumpu = 5 buah



$$\begin{aligned}
 M. \text{ lapangan} &= \left(\frac{1}{10} \times Qd \times L^2 \right) + (0,25 \times Pu \times L) \\
 &= \left(\frac{1}{10} \times 543,74 \times 1,8^2 \right) + (0,25 \times 320 \times 1,8) \\
 &= 320,173 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Faktor kejut = 1,5

$$M. \text{ lapangan} = 1,5 \times 320,173 \text{ kgm} = 480,260 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned}
 M. \text{ tumpuan} &= \left(\frac{1}{8} \times Qd \times L^2 \right) \\
 &= \left(\frac{1}{8} \times 543,74 \times 1,8^2 \right) \\
 &= 220,216 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Faktor kejut = 1,5

$$M. \text{ tumpuan} = 1,5 \times 220,216 \text{ kgm} = 330,324 \text{ kgm}$$

- Kontrol Tegangan:

$$\sigma_x = \frac{M. \text{lap}}{W} = \frac{480,260 \times 10^4}{2560 \times 10^3} = 1,88 \text{ MPa} < f_r = 2,81 \text{ MPa}$$

(memenuhi)

$$\sigma_y = \frac{M. \text{tump}}{W} = \frac{330,324 \times 10^4}{2560 \times 10^3} = 1,29 \text{ MPa} < f_r = 2,81 \text{ MPa}$$

(memenuhi)

- Kontrol Jumlah Penumpukan:

Digunakan penyangga dari balok kayu 6/12

$$\begin{aligned}
 \text{Luas bidang kontak, } A &= 0,06 \times 5 \text{ balok kayu} \\
 &= 0,3 \text{ m}^2 = 300000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$P = 1,2 ((t_{\text{pelat}} \times 2360 \text{ kg/m}^3 \times a \times b) + 1,6 (2 \times \text{beban pekerja}))$$

$$P = 1,2 (0,08 \text{ m} \times 2360 \text{ kg/m}^3 \times 2,4 \text{ m} \times 7,2 \text{ m}) + 1,6 (2 \times 100 \text{ kg})$$

$$P = 4234,957 \text{ kg} = 42349,57 \text{ N}$$

$$f = \frac{P}{A} = \frac{42349,57}{300000} = 0,141 \text{ MPa}$$

$$\text{Jumlah Penumpukan} = \frac{f_r}{f \times SF} = \frac{2,81}{0,141 \times 3} = 6,63 \approx 6 \text{ tumpukan}$$

c) Kontrol Tegangan Saat Pemasangan

Pemasangan pelat pracetak dilakukan dengan dengan 2 penyangga / *scaffolding* pada saat umur 7 hari, sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah:

$$f_{ci} \text{ (7 hari)} = 0,7 \times 35 \text{ MPa} = 25 \text{ MPa}$$

f_{cr} untuk beton 7 hari adalah

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f_{c'}} = 0,7 \times \sqrt{25} = 3,46 \text{ MPa}$$

Pada saat pemasangan ditambahkan koefisien beban = 1,2 sehingga berat sendiri pelat:

$$Q_d = 1,2 \times (t_{\text{pelat}} \times a \times 2360 \text{ kg/m}^3)$$

$$Q_d = 1,2 \times (0,08 \times 2,4 \times 2360)$$

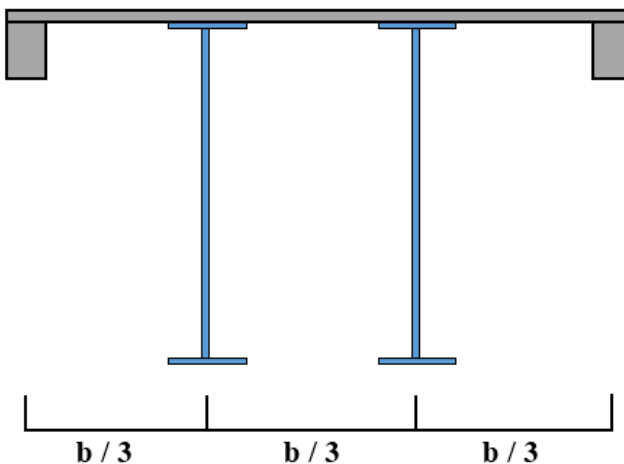
$$Q_d = 543,74 \text{ kg/m}^2$$

$$P_u = 1,6 \times (100 \text{ kg} \times 2) = 320 \text{ kg}$$

$$W = 1/6 \times a \times t^2 = 1/6 \times 240 \times 8^2 = 2560 \text{ cm}^3$$

$$L = b / 3 = 7,2 \text{ m} / 3 = 2,4 \text{ m}$$

Penumpu = 2 penyangga / *scaffolding*



Asumsi saat pemasangan pelat pracetak menggunakan 2 penyangga / *scaffolding* ditengah bentang, sehingga perhitungan momen:

$$\begin{aligned} M. \text{lapangan} &= \left(\frac{1}{10} \times Qd \times L^2 \right) + (0,25 \times Pu \times L) \\ &= \left(\frac{1}{10} \times 543,74 \times 2,4^2 \right) + (0,25 \times 320 \times 2,4) \\ &= 505,197 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Faktor kejut = 1,5

$$M. \text{lapangan} = 1,5 \times 505,197 \text{ kgm} = 757,795 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned} M. \text{tumpuan} &= \left(\frac{1}{8} \times Qd \times L^2 \right) \\ &= \left(\frac{1}{8} \times 543,74 \times 2,4^2 \right) \\ &= 391,496 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Faktor kejut = 1,5

$$M. \text{tumpuan} = 1,5 \times 391,496 \text{ kgm} = 587,244 \text{ kgm}$$

- Kontrol Tegangan:

$$\sigma_x = \frac{M. \text{lap}}{W} = \frac{757,795 \times 10^4}{2560 \times 10^3} = 2,96 \text{ MPa} < f_r = 3,46 \text{ MPa} \quad (\text{memenuhi})$$

$$\sigma_y = \frac{M. \text{tump}}{W} = \frac{587,244 \times 10^4}{2560 \times 10^3} = 2,29 \text{ MPa} < f_r = 3,46 \text{ MPa} \quad (\text{memenuhi})$$

d) Kontrol Tegangan Saat Pengecoran

Pemasangan pelat pracetak dilakukan dengan 2 penyangga / *scaffolding* pada saat umur 7 hari, sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah:

$$f_{ci} (7 \text{ hari}) = 0,7 \times 35 \text{ MPa} = 25 \text{ MPa}$$

fcr untuk beton 7 hari adalah

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f_{c'}} = 0,7 \times \sqrt{25} = 3,46 \text{ MPa}$$

Pada saat pemasangan ditambahkan koefisien beban = 1,2 sehingga berat sendiri pelat:

$$Qd = 1,2 \times (t_{\text{pelat}} \times a \times 2360 \text{ kg/m}^3)$$

$$Qd = 1,2 \times (0,14 \times 2,4 \times 2360)$$

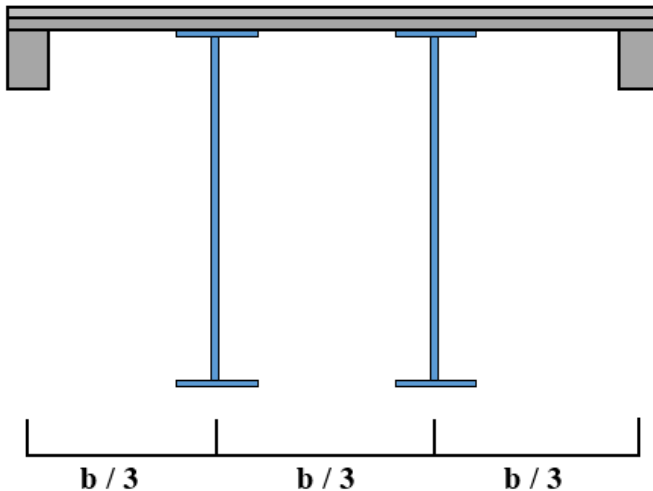
$$Qd = 951,55 \text{ kg/m}^2$$

$$Pu = 1,6 \times (100 \text{ kg} \times 2) = 320 \text{ kg}$$

$$W = 1/6 \times a \times t^2 = 1/6 \times 240 \times 14^2 = 7840 \text{ cm}^3$$

$$L = b / 3 = 7,2 \text{ m} / 3 = 2,4 \text{ m}$$

Penumpu = 2 penyangga / *scaffolding*



Asumsi saat pemasangan pelat pracetak menggunakan 2 penyangga / *scaffolding* ditengah bentang, sehingga perhitungan momen:

$$\begin{aligned} M. \text{ lapangan} &= \left(\frac{1}{10} \times Qd \times L^2 \right) + (0,25 \times Pu \times L) \\ &= \left(\frac{1}{10} \times 951,55 \times 2,4^2 \right) + (0,25 \times 320 \times 2,4) \\ &= 740,094 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Faktor kejut = 1,5

$$M. \text{ lapangan} = 1,5 \times 740,094 \text{ kgm} = 1110,141 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned}
 M. \text{ tumpuan} &= \left(\frac{1}{8} \times Qd \times L^2 \right) \\
 &= \left(\frac{1}{8} \times 951,55 \times 2,4^2 \right) \\
 &= 685,117 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Faktor kejut = 1,5

$$M. \text{ tumpuan} = 1,5 \times 685,117 \text{ kgm} = 1027,676 \text{ kgm}$$

- Kontrol Tegangan:

$$\sigma_x = \frac{M.lap}{W} = \frac{1110,141 \times 10^4}{7840 \times 10^3} = 1,42 \text{ MPa} < f_r = 3,46 \text{ MPa}$$

(memenuhi)

$$\sigma_y = \frac{M.tump}{W} = \frac{1027,676 \times 10^4}{7840 \times 10^3} = 1,31 \text{ MPa} < f_r = 3,46 \text{ MPa}$$

(memenuhi)

4.2.1.15 Kontrol Terhadap Persyaratan Geser

Kontrol persyaratan geser ditinjau berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.4.6.1. V_u pada jarak d dari tumpuan adalah sebesar:

a) Sebelum Komposit

$$\begin{aligned}
 V_u &= qu \left(\frac{lx/2}{2} - \frac{dx}{1000} \right) \\
 V_u &= 546,56 \left(\frac{7,2/2}{2} - \frac{55}{1000} \right) \\
 V_u &= 953,75 \text{ kg} \\
 V_u &= 9,537 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\phi V_c = \phi (0,17 \lambda \sqrt{f'c'} b dx) \quad \lambda = 1 \text{ (untuk beton normal)}$$

$$\phi V_c = 0,75 (0,17 \times 1 \times \sqrt{35} \times 1000 \times 55)$$

$$\phi V_c = 41486,51 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 41,487 \text{ kN}$$

$$\frac{1}{2} \phi V_c \geq V_u$$

$$20,743 \text{ kN} \geq 9,537 \text{ kN} \dots\dots\dots \text{(Kekuatan geser mencukupi)}$$

b) Setelah Komposit

$$V_u = qu \left(\frac{lx}{2} - \frac{dx}{1000} \right)$$

$$V_u = 984,48 \left(\frac{7,2}{2} - \frac{115}{1000} \right) \times 10^{-2}$$

$$V_u = 3430,91 \text{ kg}$$

$$V_u = 34,309 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = \phi (0,17 \lambda \sqrt{f_c'} b dx)$$

$$\phi V_c = 0,75 (0,17 \times 1 \sqrt{35} \times 1000 \times 115)$$

$$\phi V_c = 86744,52 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 86,745 \text{ kN}$$

$$\frac{1}{2} \phi V_c \geq V_u$$

$$43,372 \text{ kN} \geq 34,309 \text{ kN} \dots\dots\dots (\text{Kekuatan geser mencukupi})$$

4.2.1.16 Kontrol Retak Sebelum dan Sesudah Komposit**a) Sebelum Komposit**

Diasumsikan pelat beton berumur 7 hari

$$f_c' = 0,7 \times 35 = 25 \text{ MPa}$$

$$f_r = 0,62 \lambda \sqrt{f_c'} \quad \lambda = 1 \text{ (untuk beton normal)}$$

$$f_r = 0,62 (1) \sqrt{25}$$

$$f_r = 3,07 \text{ MPa}$$

Direncanakan pengecoran *overtopping* setelah berumur 7 hari.

$$f_r = 3,07 \text{ MPa}$$

$$I = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$I = \frac{1}{12} \times 1000 \times 80^3 = 42666666,67 \text{ mm}^4$$

Momen yang bekerja adalah:

$$M = \frac{1}{10} qDL (Lx/2)^2$$

$$M = \frac{1}{10} (330,4 + 200) (7,2/2)^2 = 687,398 \text{ kgm}$$

$$M = 6873984 \text{ Nmm}$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times b \times f_c'} = \frac{(n \times A_{sD10}) \times f_y}{0,85 \times b \times f_c'} = \frac{236,4 \times 400}{0,85 \times 1000 \times 35} = 3,17 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{0,8} = \frac{3,17}{0,8} = 3,96 \text{ mm}$$

$$\sigma = \frac{M_c}{I} < f_r$$

$$\sigma = \frac{6873984 \times 3,96}{42666666,67} < 3,07$$

$$\sigma = 0,638 < 3,07 \dots\dots\dots \text{OK}$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \times I}{c}$$

$$M_{cr} = \frac{3,07 \times 42666666,67}{3,96} = 33063927,27 \text{ Nmm}$$

$$M_{cr} \geq M_x$$

$$33063927,27 \text{ Nmm} \geq 1814579 \text{ Nmm} \dots\dots\dots \text{OK}$$

b) Sesudah Komposit

Diasumsikan pelat beton berumur 7 hari

$$f_c' = 0,7 \times 35 = 25 \text{ MPa}$$

$$f_r = 0,62 \lambda \sqrt{f_c'} \quad \lambda = 1 \text{ (untuk beton normal)}$$

$$f_r = 0,62 (1) \sqrt{25}$$

$$f_r = 3,07 \text{ MPa}$$

Direncanakan pengecoran *overtopping* setelah berumur 7 hari.

$$f_r = 3,07 \text{ MPa}$$

$$I = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$I = \frac{1}{12} \times 1000 \times 140^3 = 228666666,67 \text{ mm}^4$$

Momen yang bekerja adalah:

$$M = \frac{1}{8} qDL (Lx)^2$$

$$M = \frac{1}{8} (564,4 + 192) (7,2)^2 = 4901,472 \text{ kgm}$$

$$M = 49014720 \text{ Nmm}$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times b \times f_{c'}} = \frac{(n \times A_{sD10}) \times f_y}{0,85 \times b \times f_{c'}} = \frac{471, \times 400}{0,85 \times 1000 \times 35} = 6,34 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{0,8} = \frac{6,34}{0,8} = 7,92 \text{ mm}$$

$$\sigma = \frac{M c}{I} < f_r$$

$$\sigma = \frac{52125120 \times 7,92}{228666666,67} < 3,07$$

$$\sigma = 1,698 < 3,07 \dots\dots\dots \text{OK}$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \times I}{c}$$

$$M_{cr} = \frac{3,07 \times 228666666,67}{7,92} = 88600992,60 \text{ Nmm}$$

$$M_{cr} \geq M_x$$

$$88600992,60 \text{ Nmm} \geq 3268474 \text{ Nmm} \dots\dots\dots \text{OK}$$

4.2.1.17 Kontrol Lendutan

Tebal pelat yang dipakai lebih besar dari tebal minimum pelat seperti yang disyaratkan SNI 03-2847-2013 Pasal 9.5.3, maka tidak perlu dilakukan kontrol terhadap lendutan.

4.2.1.18 Cek Pelat sebagai Diafragma

Pada metode pracetak harus memperhatikan distribusi gaya dalam pada komponen pracetak dengan lapisan *toppingnya*. Sehingga, penyaluran gaya geser horizontal harus dipastikan pada permukaan kontak elemen yang dihubungkan.

$$V_u = 42,858 \text{ kN (SAP 2000 v14)}$$

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 17.5.3 Desain penampang yang dikenai geser horizontal:

$$\begin{aligned} V_{nh} &= 0,55 \times b_v \times d_x \\ &= 0,55 \times 1000 \times 115 \\ &= 63250 \text{ N} \\ &= 63,25 \text{ kN} > V_u = 42,858 \text{ kN} \end{aligned}$$

Menurut SNI 21.11.6 tebal slab diafragma pada komposit tidak boleh kurang dari 50 mm.

Tebal plat perencanaan sebesar $60 \text{ mm} \geq 50 \text{ mm}$ OK

Menurut SNI Pasal 21.11.7.1 Rasio tulangan minimum untuk diafragma struktur memenuhi 7.12 . Sehingga penulangan komposit disamakan dengan tulangan pracetak yaitu D10-150 (Lentur) & D10-300 (Pembagi).

Menurut SNI 2847 2013 Pasal 21.11.9.1 V_n diafragma struktur tidak boleh melebihi:

$$\begin{aligned} A_{cv} &= \text{Tebal } \textit{Overtopping} \times b \\ &= 60 \times 1000 \\ &= 60000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan pasal 11.9.9.2 SNI 2847:2013, ρ_t dapat diambil 0,0025.

$$\begin{aligned}
 V_n &= A_{cv} (0,17 \lambda \sqrt{f'c'} + \rho t f_y) \\
 &= 60000 ((0,17 \times 1 \times \sqrt{35}) + (0,0025 \times 400)) \\
 &= 120344 \text{ N} \\
 &= 120,344 \text{ kN} > V_u = 42,858 \text{ kN} \dots\dots\dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847 2013 Pasal 21.11.9.2 V_n diafragma struktur tidak boleh melebihi:

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0,66 \times A_{cv} \times \sqrt{f'c'} \\
 &= 0,66 \times (60000) \times \sqrt{35} \\
 &= 234277 \text{ N} \\
 &= 234,277 \text{ kN} > V_u = 42,858 \text{ kN} \dots\dots\dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847 2013 Pasal 21.11.9.3 V_n diafragma struktur tidak boleh melebihi:

$$\begin{aligned}
 \mu &= 1,4 \lambda & \lambda &= 1 \text{ (untuk beton normal)} \\
 \mu &= 1,4 (1) = 1,4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_n &= A_{vf} \times \mu \times f_y \\
 &= (1/4 \times \pi \times 10^2) \times 1,4 \times 400 \\
 &= 43982,4 \text{ N} \\
 &= 43,982 \text{ kN} > V_u = 42,858 \text{ kN} \dots\dots\dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

4.2.1.19 Penulangan Pelat yang Terpasang

Penulangan pelat yang terpakai atau yang akan dipasang adalah dipilih penulangan yang paling banyak dari ketiga keadaan diatas (keadaan sebelum komposit, akibat pengangkatan, sesudah komposit) yaitu sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Tulangan Terpasang pada Pelat

Tipe Pelat	Ukuran Pelat		Tulangan Terpasang			Stud	Panjang Penyaluran (mm)	Tulangan Angkat
	panjang (m)	lebar (m)	Tulangan Utama	Tulangan Pembagi	Tulangan <i>Overtopping</i>			
A	2,40	7,20	D10-150	D10-300	D10-300	2Ø10-500	150	D10
B	1,80	7,20	D10-150	D10-300	D10-300	2Ø10-500	150	D10
C	1,80	4,80	D10-150	D10-300	D10-300	2Ø10-500	150	D10
D	1,80	3,60	D10-150	D10-300	D10-300	2Ø10-500	150	D10
E	1,367	3,60	D10-150	D10-300	D10-300	2Ø10-500	150	D10
F	2,075	4,80	D10-150	D10-300	D10-300	2Ø10-500	150	D10
G	1,20	5,125	D10-150	D10-300	D10-300	2Ø10-500	150	D10
H	3,60	5,125	D10-150	D10-300	D10-300	2Ø10-500	150	D10

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

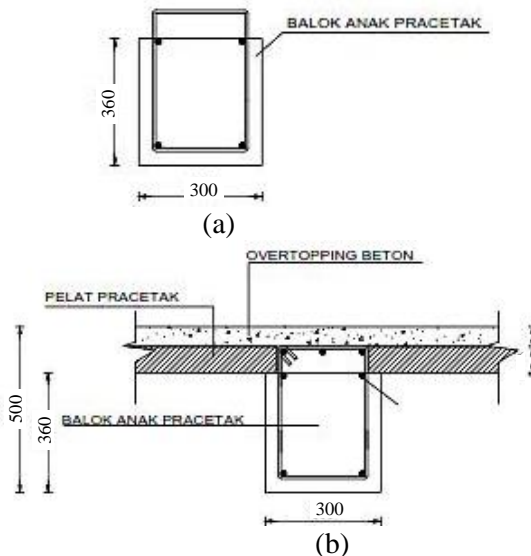
4.2.2 Perencanaan Balok Anak Pracetak

Pada perencanaan balok anak, beban yang diterima oleh balok anak berupa beban persegi biasa. Itu dikarenakan pelat pracetak hanya menumpu dua titik tumpu, titik tumpu pertama ada dibalok induk serta titik tumpu yang kedua berada di balok anak.

4.2.2.1 Data Perencanaan Balok Anak Pracetak

- Dimensi balok anak : 30×50 cm
- Mutu beton (f_c') : 35 MPa
- Mutu baja (f_y) : 400 MPa
- Tulangan lentur : D19
- Tulangan sengkang : $\emptyset 10$

Dalam perhitungan bab ini, akan dilakukan perhitungan sebelum komposit dan perhitungan sesudah komposit. Berdasarkan kondisi tersebut maka terdapat dua dimensi balok anak yaitu dimensi sebelum komposit dan dimensi sesudah komposit.

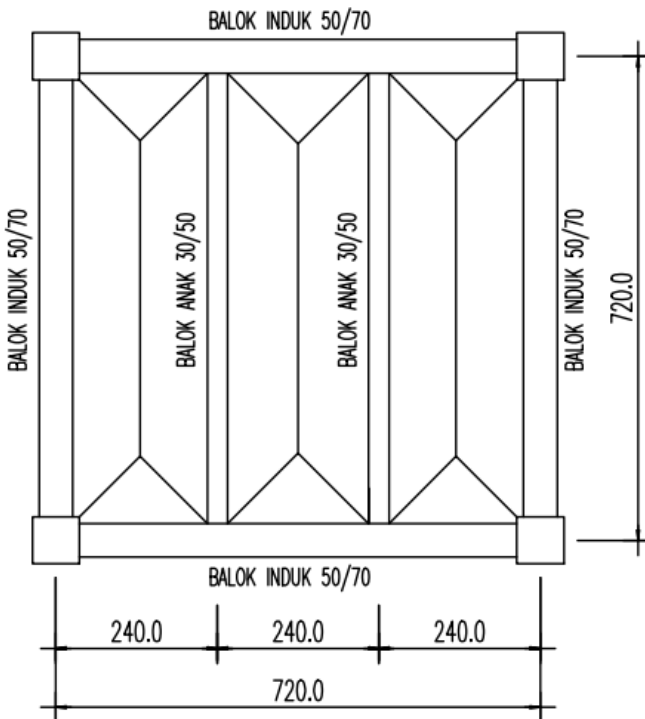


Gambar 4. 11 (a) Dimensi Balok Anak Sebelum Komposit,
(b) Dimensi Balok Anak Saat Pengecoran dan Balok Anak Saat Komposit

4.2.2.2 Pembebanan Balok Anak Pracetak

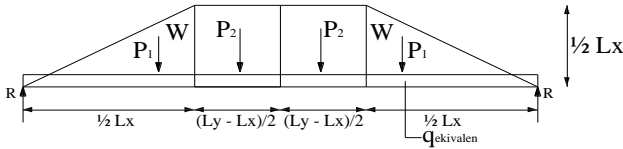
Beban yang bekerja pada balok anak adalah berat sendiri dari balok anak tersebut dan semua beban merata yang terjadi pada pelat (termasuk berat sendiri pelat dan beban hidup merata yang berada diatas pelat). Distribusi beban pada balok pendukung sedemikian rupa sehingga dapat dianggap sebagai beban trapesium pada lajur yang panjang.

Beban–beban berbentuk trapesium tersebut kemudian diubah menjadi beban merata ekuivalen untuk mendapatkan momen maksimumnya. Untuk mempermudah pemahaman pembebanan pada balok anak berikut disajikan gambar distribusi beban yang bekerja pada balok anak.



Gambar 4. 12 Distribusi Beban pada Balok Anak 30/50

Beban ekivalen trapesium



Beban Trapesium

$$W = \frac{1}{2} \times q \times Lx$$

$$P_1 = \frac{1}{8} \times q \times Lx^2$$

$$P_2 = \frac{1}{2} (Ly - Lx) \times \frac{1}{2} \times q \times Lx$$

$$R = P_1 + P_2$$

$$M_{max} = (R \times \frac{1}{2} Ly) - (P_1 \times (\frac{1}{2} Ly - \frac{1}{3} Lx)) - (P_2 \times \frac{1}{4} (Ly - Lx))$$

$$M_{max} = (R \times \frac{1}{2} Ly) - (\frac{1}{2} P_1 \times Ly) + (\frac{1}{3} P_1 \times Lx) - (\frac{1}{4} \times P_2 \times Ly) + (\frac{1}{4} \times P_2 \times Lx)$$

$$M_{max} = (\frac{1}{2} P_1 \times Ly) + (\frac{1}{2} P_2 \times Ly) - (\frac{1}{2} P_1 \times Ly) + (\frac{1}{3} P_1 \times Lx) - (\frac{1}{4} \times P_2 \times Ly) + (\frac{1}{4} \times P_2 \times Lx)$$

$$M_{max} = (\frac{1}{4} P_2 \times Ly) + (\frac{1}{3} P_1 \times Lx) + (\frac{1}{4} P_2 \times Lx)$$

$$M_{max} = (\frac{1}{16} \times q \times Lx \times Ly^2) - (\frac{1}{16} \times q \times Lx^2 \times Ly) + (\frac{1}{24} \times q \times Lx^3) + (\frac{1}{16} \times q \times Lx^2 \times Ly) - (\frac{1}{16} \times q \times Lx^3)$$

$$M_{max} = (\frac{1}{16} \times q \times Lx \times Ly^2) - (\frac{1}{48} \times q \times Lx^3)$$

$$M_{max} = \frac{1}{8} \times q \times Ly^2 ((\frac{1}{2} Lx) - (\frac{1}{6} \times Lx^3 / Ly^2))$$

$$M_{eq} = \frac{1}{8} \times q_{ek} \times Ly^2$$

$$M_{max} = M_{eq}$$

$$\frac{1}{8} \times q \times Ly^2 ((\frac{1}{2} Lx) - (\frac{1}{6} \times Lx^3 / Ly^2)) = \frac{1}{8} \times q_{ek} \times Ly^2$$

$$q_{ek} = q \times \left(\left(\frac{1}{2} Lx \right) - \left(\frac{1}{6} \frac{Lx^3}{Ly^2} \right) \right)$$

$$q_{ek} = \frac{1}{2} \times q \times Lx \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right)$$

4.2.2.3 Perhitungan Pembebanan Balok Anak

$$L_{x1} = 240 - (30/2 + 50/2) = 205 \text{ cm}$$

$$L_{x2} = 240 - (30/2 + 30/2) = 210 \text{ cm}$$

$$L_y = 720 - (50/2 + 50/2) = 670 \text{ cm}$$

Berdasarkan SNI 7833-2012 Gambar R4.6.2

$$\begin{aligned} \text{Panjang landasan} &= \frac{ln}{180} = \geq 75 \text{ mm} \\ &= \frac{6700}{180} = \geq 75 \text{ mm} \\ &= 37,222 \text{ mm} \geq 75 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan panjang landasan 75 mm

$$\begin{aligned} \text{Jadi, panjang balok pracetak} &= 670 \text{ cm} + (7,5 \times 2) \\ &= 685 \text{ cm} \end{aligned}$$

➤ Sebelum Komposit

Pada kondisi ini *topping* terpasang namun belum berkomposit, serta terdapat orang yang bekerja dan peralatannya.

- Beban mati (Q_{DL}):

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri balok anak} &= 0,3 \times 0,36 \times 2360 \text{ kg/m}^3 \\ &= 254,88 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q \text{ pelat sebelum komposit} &= 0,14 \times 2360 \text{ kg/m}^3 \\ &= 330,4 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{sebelum komposit}} &= \left(\frac{1}{2} \times q \times L_{x1} \right) + \left(\frac{1}{2} \times q \times L_{x2} \right) \\ &= \left(\frac{1}{2} \times 330,4 \times 2,00 \right) + \left(\frac{1}{2} \times 330,4 \times 2,1 \right) \\ &= 677,3 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

- Beban hidup (Q_{LL})

$$\text{Beban pekerja} = 200 \text{ kg/m}^2 \text{ (2 orang pekerja)}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{ekivalen}} &= \left(\frac{1}{2} \times q \times Lx1 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{Lx1}{Ly} \right)^2 \right) \right) + \\
 &\quad \left(\frac{1}{2} \times q \times Lx2 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{Lx2}{Ly} \right)^2 \right) \right) \\
 &= \left(\frac{1}{2} \times 200 \times 2,00 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{2,00}{6,7} \right)^2 \right) \right) + \\
 &\quad \left(\frac{1}{2} \times 200 \times 2,1 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{2,1}{6,7} \right)^2 \right) \right) \\
 &= 397,18 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

- Kombinasi beban:

Q_u sebelum komposit

$$Q_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

$$= 1,2 \times (254,88 + 677,3) + (1,6 \times 397,18)$$

$$= 1754,13 \text{ kg/m}$$

➤ Sesudah Komposit

- Beban mati (Q_{DL})

$$\text{Berat sendiri balok anak} = 0,3 \times 0,5 \times 2360 \text{ kg/m}^3$$

$$= 354 \text{ kg/m}$$

$$q \text{ pelat sesudah komposit} = 0,14 \times 2360 \text{ kg/m}^3$$

$$= 330,4 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Plafon+penggantung} = 5 + 10 \text{ kg/m}^2 = 15 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Keramik+Spesi (25 mm)} = 0,025 \times 4400 = 110 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Mechanical Duckting} = 19 \text{ kg/m}^2 = \underline{19 \text{ kg/m}^2} +$$

$$\text{DL} = 474,4 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}
Q_{\text{sesudah komposit}} &= \left(\frac{1}{2} \times q \times Lx1 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{Lx1}{Ly} \right)^2 \right) \right) + \\
&\quad \left(\frac{1}{2} \times q \times Lx2 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{Lx2}{Ly} \right)^2 \right) \right) \\
&= \left(\frac{1}{2} \times 474,4 \times 2,00 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{2,00}{6,7} \right)^2 \right) \right) + \\
&\quad \left(\frac{1}{2} \times 474,4 \times 2,1 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{2,1}{6,7} \right)^2 \right) \right) \\
&= 942 \text{ kg/m}
\end{aligned}$$

- Beban hidup (Q_{LL})

Beban kerja = 192 kg/m²

$$\begin{aligned}
Q_{\text{ekivalen}} &= \left(\frac{1}{2} \times q \times Lx1 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{Lx1}{Ly} \right)^2 \right) \right) + \\
&\quad \left(\frac{1}{2} \times q \times Lx2 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{Lx2}{Ly} \right)^2 \right) \right) \\
&= \left(\frac{1}{2} \times 192 \times 2,00 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{2,00}{6,7} \right)^2 \right) \right) + \\
&\quad \left(\frac{1}{2} \times 192 \times 2,1 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{2,1}{6,7} \right)^2 \right) \right) \\
&= 381,30 \text{ kg/m}
\end{aligned}$$

- Kombinasi beban
 Q_u sesudah komposit
 $Q_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$
 $= 1,2 \times (330,4 + 942) + (1,6 \times 381,30)$
 $= 2137,09 \text{ kg/m}$

4.2.2.4 Perhitungan Momen dan Geser

Perhitungan momen dan gaya lintang sesuai dengan ikhtisar momen – momen dan gaya melintang dari SNI 03-2847-2013 pasal 8.3.3.

➤ Momen sebelum komposit

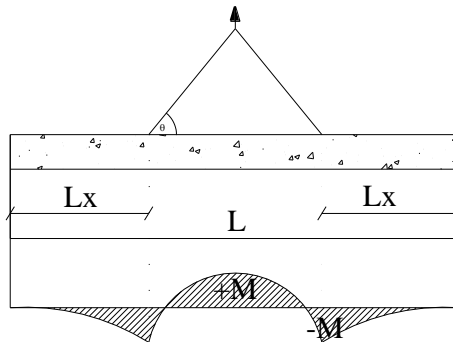
Asumsi saat pemasangan pelat pracetak, sehingga perhitungan momen:

$$M^+_{(\text{lap})} = \frac{1}{10} \times Q_u \times L^2 = \frac{1}{10} \times 1754,13 \times (6,85)^2 = 8230,83 \text{ kgm}$$

$$M^+_{(\text{tun})} = \frac{1}{8} \times Q_u \times L^2 = \frac{1}{8} \times 1754,13 \times (6,85)^2 = 10288,53 \text{ kgm}$$

$$V_u = \frac{1}{2} \times Q_u \times L = \frac{1}{2} \times 1754,13 \times 6,85 = 6007,90 \text{ kg}$$

➤ Momen saat pengangkatan



Gambar 4. 13 Momen Saat Pengangkatan Balok Anak

Dimana :

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \times \operatorname{tg} \theta} \right)$$

$$-M = \frac{WX^2L^2}{2}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4Y_c}{L \times \operatorname{tg} \theta}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{Y_t}{Y_b} \left(1 + \frac{4Y_c}{L \times \operatorname{tg} \theta} \right)} \right)}$$

- Kondisi sebelum komposit

$$b = 30 \text{ cm}$$

$$h = 36 \text{ cm}$$

$$L = 685 \text{ cm}$$

Perhitungan :

$$Y_t = Y_b = \frac{(36)}{2} = 18 \text{ cm}$$

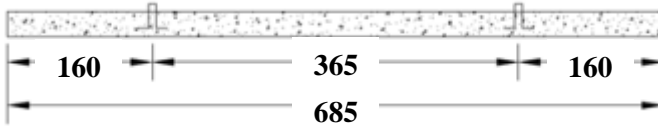
$$Y_c = 18 + 5 = 23 \text{ cm}$$

Sudut pengangkatan (45°)

$$X = \frac{1 + \frac{4 \times 23}{685 \times \operatorname{tg} 45^\circ}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{18}{18} \left(1 + \frac{4 \times 23}{685 \times \operatorname{tg} 45^\circ} \right)} \right)} = 0,230$$

$$X \times L = 0,230 \times 685 = 157,87 \text{ cm} = 160 \text{ m}$$

$$L - 2 \times (X \times L) = 685 - 2 \times (160) = 365 \text{ cm}$$



Gambar 4. 14 Letak Titik Pengangkatan Balok Anak

- **Pembebanan**

Beban yang bekerja pada balok anak pada waktu pengangkatan:

Berat sendiri = $0,3 \times 0,36 \times 2360 = 254,88 \text{ kg/m}$

Dalam upaya untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan faktor akibat pengangkatan sebesar 1,2 sebagai berikut:

- **Momen lapangan**

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \times \tan \theta} \right)$$

$$+M = \left(\frac{254,88 \times 6,85^2}{8} \left(1 - 4 \times 0,230 + \frac{4 \times 0,23}{6,85 \times \tan 45} \right) \right) \times 1,2$$

$$= 381,129 \text{ kgm}$$

- **Momen tumpuan**

$$-M = \frac{WX^2L^2}{2}$$

$$-M = \left(\frac{254,88 \times 0,230^2 \times 6,85^2}{2} \right) \times 1,2 = 381,129 \text{ kgm}$$

➤ **Momen sesudah komposit**

Asumsi saat pemasangan pelat pracetak, sehingga perhitungan momen:

$$M^+_{(\text{lap})} = \frac{1}{10} \times Q_u \times L^2 = \frac{1}{10} \times 2137,09 \times (6,85)^2 = 10027,78 \text{ kgm}$$

$$M^-_{(\text{tum})} = \frac{1}{8} \times Q_u \times L^2 = \frac{1}{8} \times 2137,09 \times (6,85)^2 = 12534,72 \text{ kgm}$$

$$V_u = \frac{1}{2} \times Q_u \times L = \frac{1}{2} \times 2137,09 \times 6,85 = 7319,55 \text{ kg}$$

4.2.2.5 Perhitungan Tulangan Lentur Balok Anak

➤ Perhitungan tulangan sebelum komposit

Dimensi balok anak	= 30/36
Tebal selimut beton	= 50 mm
Diameter tulangan utama	= 19 mm
Diameter tulangan sengkang	= 10 mm
Mutu beton (f'_c)	= 35 MPa
Mutu baja (f_y)	= 400 Mpa
AsD19	= 283,53 mm ²
AsD10	= 78,54 mm ²

- Menurut SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3 nilai β_1 ditentukan sebesar:

Tabel 4. 5 Tabel β_1

f'_c	28	35	42
(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
β_1	0,85	0,8	0,75

- Untuk mutu beton $f'_c = 35$ MPa berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3 harga dari β_1 adalah sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,8 + \frac{(30-28)}{(f'_c-28)} \times 0,05 \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,8 + \frac{(30-28)}{(35-28)} \times 0,05 \geq 0,65 = 0,81$$

Dengan demikian maka batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang diisyaratkan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,81 \times 35}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0363 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,0363 = 0,0273$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

Tulangan lentur lapangan

$$d = 360 - 50 - 10 - \frac{1}{2}(19) = 290,5 \text{ mm}$$

$$M_{\text{lapangan}} = 8230,83 \text{ kgm} = 82308277,01 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{82308277,01}{0,8 \times 300 \times 290,5^2} = 4,06$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 4,06}{400}} \right) = 0,0110 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat: } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,00350 < 0,0110 < 0,0273 \text{ (**Memenuhi**)}$$

dipakai $\rho_{\text{perlu}} = 0,0110$ sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0110 \times 300 \times 290,5 = 955,90 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{sD19}} \\ &= \frac{955,90}{283,53} = 3,371 \approx 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, } A_s \text{ pakai} &= \text{Jumlah tulangan per meter} \times A_{sD19} \\ &= 4 \times 283,53 \\ &= 1134,12 \text{ mm}^2 \\ &= 1134,12 \text{ mm}^2 > A_{s\text{perlu}} = 955,90 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Cek Syarat Minimum Tulangan

Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1

$$As_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f'c'}}{f_y} b w d x = \frac{0,25 \sqrt{35}}{400} 300 \times 290,5 = 322 \text{ mm}^2$$

$$As_{min} = \frac{1,4}{f_y} b w d x = \frac{1,4}{400} 300 \times 290,5 = 305 \text{ mm}^2$$

$$As_{pakai} = 1134,12 \text{ mm}^2 > As_{min} \text{ (Memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan lentur 4D19

- Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{As}{b \times d x} = \frac{n \times AsD19}{b \times d x} = \frac{4 \times 283,53}{300 \times 290,5} = 0,01301 > \rho_{perlu} = 0,0110$$

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times b \times f'c'} = \frac{(n \times AsD19) \times f_y}{0,85 \times b \times f'c'} = \frac{1134,12 \times 400}{0,85 \times 300 \times 35} = 50,83 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn &= \phi \times As \times f_y \left(d x - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 1134,12 \times 400 \left(290,5 - \frac{50,83}{2} \right) \\ &= 9620,42 \text{ kgm} > Mu = 8230,83 \text{ kgm} \dots\dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

- Cek Penampang

$$\frac{a}{d x} = \frac{50,83}{290,5} = 0,175$$

$$\frac{c}{d x} = 0,375 \times \beta_1 = 0,375 \times 0,81 = 0,305$$

Maka, $a/dt < c/dt \dots\dots\dots \text{OK}$

Tulangan lentur tumpuan

$$d = 360 - 50 - 10 - \frac{1}{2} (19) = 290,5 \text{ mm}$$

$$M_{tumpuan} = 10288,53 \text{ kgm} = 102885346,27 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} = \frac{102885346,27}{0,8 \times 300 \times 290,5^2} = 5,08$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 5,08}{400}} \right) = 0,0140$$

Syarat: $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$
 $0,00350 < 0,0140 < 0,0273$ (**Memenuhi**)

dipakai $\rho_{\text{perlu}} = 0,0140$ sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d_x$$

$$= 0,0140 \times 300 \times 290,5 = 1221,95 \text{ mm}^2$$

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{sD19}}$$

$$= \frac{1221,95}{283,53} = 4,310 \approx 5 \text{ buah}$$

Sehingga, A_s pakai = Jumlah tulangan per meter x A_{sD19}

$$= 5 \times 283,53$$

$$= 1417,65 \text{ mm}^2$$

$$= 1417,65 \text{ mm}^2 > A_{s\text{perlu}} = 1221,95 \text{ mm}^2$$

- Cek Syarat Minimum Tulangan

Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1

$$A_{s\text{ min}} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b w d_x = \frac{0,25 \sqrt{35}}{400} 300 \times 290,5 = 322 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{ min}} = \frac{1,4}{f_y} b w d_x = \frac{1,4}{400} 300 \times 290,5 = 305 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai} = 1417,65 \text{ mm}^2 > A_{s\text{ min}} \text{ (Memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan lentur 5D19

- Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d_x} = \frac{n \times A_{sD19}}{b \times d_x} = \frac{5 \times 283,53}{300 \times 290,5} = 0,01627 > \rho_{\text{perlu}} = 0,0140$$

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times b \times f_{c'}} = \frac{(n \times AsD19) \times f_y}{0,85 \times b \times f_{c'}} = \frac{1417,65 \times 400}{0,85 \times 300 \times 35} = 63,54 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \phi \times As \times f_y \left(dx - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 1417,65 \times 400 \left(290,5 - \frac{63,54}{2} \right) \\ &= 11737,30 \text{ kgm} > M_u = 10288,53 \text{ kgm} \dots\dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

• Cek Penampang

$$\frac{a}{dx} = \frac{63,54}{290,5} = 0,219$$

$$\frac{c}{dx} = 0,375 \times \beta_1 = 0,375 \times 0,81 = 0,305$$

Maka, $a/dt < c/dt \dots\dots\dots \text{OK}$

Tulangan Geser

$$V_u = 6007,90 \text{ kg} = 60079 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \times \left(\sqrt{f_{c'}} \times bw \times d \right) \\ &= \frac{1}{6} \times \left(\sqrt{35} \times 300 \times 290,5 \right) \\ &= 85931,059 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 85931,059 \text{ N} = 64448,294 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \times 64448,294 \text{ N} = 32224,147 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 64448,294 \text{ N} > V_u = 60079 \text{ N} > 0,5 \phi V_c = 32224,147 \text{ N}$$

Kondisi diatas cukup dipasang tulangan geser minimum.

Dicoba jarak 2 kaki $\phi 10 - 200 \text{ mm}$ ($As = 157,08 \text{ mm}^2$) dengan mutu baja ($f_y = 240 \text{ MPa}$)

• Cek Syarat Minimum Tulangan

Syarat tulangan geser minimum ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.6.3

$$As_{\min} = \frac{0,062 \sqrt{f_{c'}}}{f_y} bw s = \frac{0,062 \sqrt{35}}{240} 300 \times 200 = 92 \text{ mm}^2$$

$$As_{\min} = \frac{0,35}{f_y} b w s = \frac{0,35}{400} 300 \times 200 = 88 \text{ mm}^2$$

$$As_{\text{pakai}} = 157 \text{ mm}^2 > As_{\min} \text{ (Memenuhi)}$$

Jadi dipakai jarak $\emptyset 10 - 200 \text{ mm}$

➤ **Perhitungan tulangan saat pengangkatan**

Dimensi balok anak	= 30/36
Tebal selimut beton	= 50 mm
Diameter tulangan utama	= 19 mm
Diameter tulangan sengkang	= 10 mm
Mutu beton (f'_c)	= 35 MPa
Mutu baja (f_y)	= 400 Mpa
AsD19	= 283,53 mm ²
AsD10	= 78,54 mm ²

- Menurut SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3 nilai β_1 ditentukan sebesar:

Tabel 4. 6 Tabel β_1

f'_c (Mpa)	28	35	42
	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
β_1	0,85	0,8	0,75

- Untuk mutu beton $f'_c = 35 \text{ MPa}$ berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3 harga dari β_1 adalah sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,8 + \frac{(30-28)}{(f'_c-28)} \times 0,05 \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,8 + \frac{(30-28)}{(35-28)} \times 0,05 \geq 0,65 = 0,81$$

Dengan demikian maka batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang diisyaratkan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,81 \times 35}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0363 \\ \rho_{\max} &= 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,0363 = 0,0273 \\ \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\ m &= \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45\end{aligned}$$

Tulangan lentur lapangan

$$d = 360 - 50 - 10 - \frac{1}{2} (19) = 290,5 \text{ mm}$$

$$M_{\text{lapangan}} = 381,13 \text{ kgm} = 3811287,67 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{3811287,67}{0,8 \times 300 \times 290,5^2} = 0,19$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 0,19}{400}} \right) = 0,0005\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat: } &\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \\ &0,00350 > 0,0005 < 0,0273 \text{ (**Tidak Memenuhi**)}\end{aligned}$$

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 10.5 (3) sebagai alternatif, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

$$\text{Maka } \rho \text{ diperbesar } 30\% \times \rho = 1,3 \times 0,0005 = 0,0006$$

dipakai $\rho = 0,0006$, sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned}A_{\text{Sperlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0006 \times 300 \times 290,5 = 53,47 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{sD19}} \\
 &= \frac{53,47}{283,53} = 0,189 \approx 2\text{buah}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Sehingga, } A_s \text{ pakai} &= \text{Jumlah tulangan per meter} \times A_{sD19} \\
 &= 2 \times 283,53 \\
 &= 567,06 \text{ mm}^2 \\
 &= 567,06 \text{ mm}^2 > A_{s\text{perlu}} = 53,47 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Cek Syarat Minimum Tulangan

Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1

$$A_{s\text{ min}} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b w d x = \frac{0,25 \sqrt{35}}{400} 300 \times 290,5 = 322 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{ min}} = \frac{1,4}{f_y} b w d x = \frac{1,4}{400} 300 \times 290,5 = 305 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai} = 567,06 \text{ mm}^2 > A_{s\text{ min}} \text{ (Memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan lentur 2D19

- Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d x} = \frac{n \times A_{sD19}}{b \times d x} = \frac{2 \times 283,53}{300 \times 290,5} = 0,00651 > \rho_{\text{perlu}} = 0,0006$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times b \times f_c'} = \frac{(n \times A_{sD19}) \times f_y}{0,85 \times b \times f_c'} = \frac{567,06 \times 400}{0,85 \times 300 \times 35} = 25,41 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \phi \times A_s \times f_y \left(d x - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,8 \times 567,06 \times 400 \left(290,5 - \frac{25,41}{2} \right) \\
 &= 5040,80 \text{ kgm} > M_u = 381,13 \text{ kgm} \dots\dots\dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Cek Penampang

$$\frac{a}{d x} = \frac{25,41}{290,5} = 0,087$$

$$\frac{c}{dx} = 0,375 \times \beta_1 = 0,375 \times 0,81 = 0,305$$

Maka, $a/dt < c/dt$ OK

Tulangan lentur tumpuan

$$d = 360 - 50 - 10 - \frac{1}{2}(19) = 290,5 \text{ mm}$$

$$M_{\text{tumpuan}} = 381,13 \text{ kgm} = 3811287,67 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{3811287,67}{0,8 \times 300 \times 290,5^2} = 0,19$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 0,19}{400}} \right) = 0,0005$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,00350 > 0,0005 < 0,0273 \text{ (**Tidak Memenuhi**)}$$

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 10.5 (3) sebagai alternatif, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

$$\text{Maka } \rho \text{ diperbesar } 30\% \times \rho = 1,3 \times 0,0005 = 0,0006$$

dipakai $\rho = 0,0006$, sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$A_{S\text{perlu}} = \rho \times b \times dx$$

$$= 0,0006 \times 300 \times 290,5 = 53,47 \text{ mm}^2$$

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{A_{S\text{perlu}}}{A_{SD19}}$$

$$= \frac{53,47}{283,53} = 0,189 \approx 2 \text{ buah}$$

Sehingga, $A_s \text{ pakai}$ = Jumlah tulangan per meter $\times A_{SD19}$

$$= 2 \times 283,53$$

$$= 567,06 \text{ mm}^2$$

$$= 567,06 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 53,47 \text{ mm}^2$$

- Cek Syarat Minimum Tulangan

Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1

$$A_s \min = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b w d x = \frac{0,25 \sqrt{35}}{400} 300 \times 290,5 = 322 \text{ mm}^2$$

$$A_s \min = \frac{1,4}{f_y} b w d x = \frac{1,4}{400} 300 \times 290,5 = 305 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai} = 567,06 \text{ mm}^2 > A_s \min \text{ (Memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan lentur 2D19

- Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d x} = \frac{n \times A_{sD19}}{b \times d x} = \frac{2 \times 283,53}{300 \times 290,5} = 0,00651 > \rho_{\text{perlu}} = 0,0006$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times b \times f_c'} = \frac{(n \times A_{sD19}) \times f_y}{0,85 \times b \times f_c'} = \frac{567,06 \times 400}{0,85 \times 300 \times 35} = 25,41 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \phi \times A_s \times f_y \left(d x - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 567,06 \times 400 \left(290,5 - \frac{25,41}{2} \right) \\ &= 5040,80 \text{ kgm} > M_u = 381,13 \text{ kgm} \dots\dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

- Cek Penampang

$$\frac{a}{d x} = \frac{25,41}{290,5} = 0,087$$

$$\frac{c}{d x} = 0,375 \times \beta_1 = 0,375 \times 0,81 = 0,305$$

Maka, $a/dt < c/dt \dots\dots\dots \text{OK}$

➤ **Perhitungan tulangan sesudah komposit**

Dimensi balok anak = 30/50
 Tebal selimut beton = 50 mm
 Diameter tulangan utama = 19 mm
 Diameter tulangan sengkang = 10 mm

$$\begin{aligned}
\text{Mutu beton } (f'_c) &= 35 \text{ MPa} \\
\text{Mutu baja } (f_y) &= 400 \text{ Mpa} \\
\text{AsD19} &= 283,53 \text{ mm}^2 \\
\text{AsD10} &= 78,54 \text{ mm}^2 \\
d = 500 - 50 - 10 - \frac{1}{2} (19) &= 430,5 \text{ mm}
\end{aligned}$$

- Menurut SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3 nilai β_1 ditentukan sebesar:

Tabel 4. 7 Tabel β_1

f'_c (Mpa)	28	35	42
	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
β_1	0,85	0,8	0,75

- Untuk mutu beton $f'_c = 35 \text{ MPa}$ berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3 harga dari β_1 adalah sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,8 + \frac{(30-28)}{(f'_c-28)} \times 0,05 \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,8 + \frac{(30-28)}{(35-28)} \times 0,05 \geq 0,65 = 0,81$$

Dengan demikian maka batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang diisyaratkan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
&= \frac{0,85 \times 0,81 \times 35}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0363
\end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,0363 = 0,0273$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

Tulangan lapangan

$$d = 500 - 50 - 10 - \frac{1}{2}(19) = 430,5 \text{ mm}$$

$$M_{\text{lapangan}} = 10027,78 \text{ kgm} = 100277776,9 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{100277776,9}{0,8 \times 300 \times 430,5^2} = 2,25$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 2,25}{400}} \right) = 0,0059$$

$$\text{Syarat: } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,00350 < 0,0059 < 0,0273 \text{ (Memenuhi)}$$

dipakai $\rho_{\text{perlu}} = 0,0059$ sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times dx$$

$$= 0,0059 \times 300 \times 430,5 = 757,81 \text{ mm}^2$$

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{sD19}}$$

$$= \frac{757,81}{283,53} = 2,67 \approx 4 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, } A_{s\text{ pakai}} &= \text{Jumlah tulangan per meter} \times A_{sD19} \\ &= 4 \times 283,53 \text{ mm}^2 \\ &= 1134,12 \text{ mm}^2 \\ &= 1134,12 \text{ mm}^2 > A_{s\text{ perlu}} = 757,81 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Cek Syarat Minimum Tulangan

Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1

$$A_{s\text{ min}} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b w dx = \frac{0,25 \sqrt{35}}{400} 300 \times 430,5 = 478 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{ min}} = \frac{1,4}{f_y} b w dx = \frac{1,4}{400} 300 \times 430,5 = 452 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{ pakai}} = 1134,12 \text{ mm}^2 > A_{s\text{ min}} \text{ (Memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan lentur 4D19

• Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{As}{b \times dx} = \frac{n \times AsD19}{b \times dx} = \frac{4 \times 283,53}{300 \times 430,5} = 0,00878 > \rho_{\text{perlu}} = 0,0059$$

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times b \times f_{c'}} = \frac{(n \times AsD19) \times f_y}{0,85 \times b \times f_{c'}} = \frac{1134,12 \times 400}{0,85 \times 300 \times 35} = 50,83 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \phi \times As \times f_y \left(dx - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 1134,12 \times 400 \left(430,5 - \frac{50,83}{2} \right) \\ &= 14701,27 \text{ kgm} > M_u = 10027,78 \text{ kgm} \dots\dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

• Cek Penampang

$$\frac{a}{dx} = \frac{50,83}{430,5} = 0,118$$

$$\frac{c}{dx} = 0,375 \times \beta_1 = 0,375 \times 0,81 = 0,305$$

$$\text{Maka, } a/dt < c/dt \dots\dots\dots \text{OK}$$

Tulangan tumpuan

$$d = 500 - 50 - 10 - \frac{1}{2} (19) = 430,5 \text{ mm}$$

$$M_{\text{tumpuan}} = 12534,72 \text{ kgm} = 125347221,2 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{125347221,2}{0,8 \times 300 \times 430,5^2} = 2,82$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 2,82}{400}} \right) = 0,0074 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat: } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,00350 < 0,0074 < 0,0273 \text{ (**Memenuhi**)}$$

dipakai $\rho_{\text{perlu}} = 0,0074$ sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= \rho \times b \times dx \\ &= 0,0074 \times 300 \times 430,5 = 957,63 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{sD19}} \\
 &= \frac{957,63}{283,53} = 3,38 \approx 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Sehingga, } A_{s\text{ pakai}} &= \text{Jumlah tulangan per meter} \times A_{sD19} \\
 &= 4 \times 283,53 \text{ mm}^2 \\
 &= 1134,12 \text{ mm}^2 \\
 &= 1134,12 \text{ mm}^2 > A_{s\text{ perlu}} = 957,63 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

• Cek Syarat Minimum Tulangan

Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1

$$A_{s\text{ min}} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b w d x = \frac{0,25 \sqrt{35}}{400} 300 \times 430,5 = 478 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{ min}} = \frac{1,4}{f_y} b w d x = \frac{1,4}{400} 300 \times 430,5 = 452 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{ pakai}} = 1134,12 \text{ mm}^2 > A_{s\text{ min}} \text{ (Memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan lentur 4D19

• Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d x} = \frac{n \times A_{sD19}}{b \times d x} = \frac{4 \times 283,53}{300 \times 430,5} = 0,00878 > \rho_{\text{perlu}} = 0,0074$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times b \times f_c'} = \frac{(n \times A_{sD19}) \times f_y}{0,85 \times b \times f_c'} = \frac{1134,12 \times 400}{0,85 \times 300 \times 35} = 50,83 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \phi \times A_s \times f_y \left(d x - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,8 \times 1134,12 \times 400 \left(430,5 - \frac{50,83}{2} \right) \\
 &= 14701,27 \text{ kgm} > M_u = 12534,72 \text{ kgm} \dots\dots\dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

• Cek Penampang

$$\frac{a}{d x} = \frac{50,83}{430,5} = 0,118$$

$$\frac{c}{d x} = 0,375 \times \beta_1 = 0,375 \times 0,81 = 0,305$$

$$\text{Maka, } a/d x < c/d x \dots\dots\dots \text{OK}$$

Tulangan Geser

$$V_u = 7319,55 \text{ kg} = 73195,5 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \times (\sqrt{f_c'} \times b_w \times d) \\ &= \frac{1}{6} \times (\sqrt{35} \times 300 \times 430,5) \\ &= 127343,617 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 127343,617 \text{ N} = 95507,713 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \times 95507,713 \text{ N} = 47753,856 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 127343,617 \text{ N} > V_u = 73195,5 \text{ N} > 0,5 \phi V_c = 47753,856 \text{ N}$$

Kondisi diatas cukup dipasang tulangan geser minimum.

Dicoba jarak 2 kaki $\phi 10 - 200 \text{ mm}$ ($A_s = 157,08 \text{ mm}^2$) dengan mutu baja ($f_y = 240 \text{ MPa}$)

- Cek Syarat Minimum Tulangan

Syarat tulangan geser minimum ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.6.3

$$A_s \text{ min} = \frac{0,062 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w s = \frac{0,062 \sqrt{35}}{240} 300 \times 200 = 92 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min} = \frac{0,35}{f_y} b_w s = \frac{0,35}{400} 300 \times 200 = 88 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai} = 157 \text{ mm}^2 > A_s \text{ min (Memenuhi)}$$

Jadi dipakai jarak $\phi 10 - 200 \text{ mm}$

4.2.2.6 Perhitungan Tulangan Angkat dan Strand

a. Perhitungan Tulangan Angkat

Beban Mati (DL):

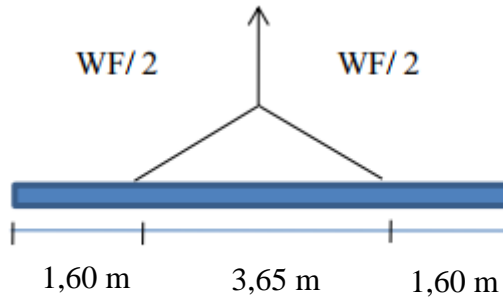
$$\begin{aligned} \text{Balok } (0,3 \times 0,36 \times 6,85 \times 2360) &= 1745,928 \text{ kg} \\ q_{DL} &= 1745,928 \text{ kg} \end{aligned}$$

Beban Hidup (LL):

$$P \text{ pekerja: } 2 \text{ orang} \times 100 \text{ kg} \quad q_{LL} = 200 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban ultimate} &= 1,2 q_{DL} \times 1,2 \\ &= (1,2 \times 1745,928) \times 1,2 + (1,6 \times 200) \times 1,2 \\ &= 2989,14 \text{ kg} \end{aligned}$$

Sesuai *PCI Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete*, fig. 8.3.4. Terdapat 2 titik angkat dan terdapat sudut pengangkatan sebesar 45° sehingga harus dikalikan faktor $F = 1,41$



Gambar 4. 15 Letak Titik Pengangkatan

Gaya angkat (Tu) setiap tulangan (beban yang diterima 1 titik angkat):

$$P = Nn = \frac{W.F}{2} = \frac{2898,14}{2} \times 1,41 = 2043,19 \text{ kg}$$

Menurut SNI 2847-2013 pasal 10.6.4 untuk tegangan ijin dasar pada baja (f_s) diambil sebesar $2/3 f_y$.

$$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} 400 = 266,667 \text{ MPa} = 2666,67 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_s = \frac{P}{f_s} = \frac{2043,19 \text{ kg}}{2666,67 \text{ kg/cm}^2} = 0,766 \text{ cm}^2$$

Dicoba tulangan angkat $D 10 \text{ mm}$

$$A_s \text{ pakai} = 78,54 \text{ mm}^2 = 0,7854 \text{ cm}^2 > 0,766 \text{ cm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi dipakai tulangan angkat $D 10 \text{ mm}$

SNI 2847 2013 pada lampiran D dijelaskan bahwa dalam pendesainan tulangan angkat, tarik pada angkur harus lebih kecil dibanding kekuatan nominal.

- Tulangan angkur = 10 mm
- Jumlah angkur = 2 buah
- Faktor sling 60° = 1,16
- Faktor kejut = 1,5

$W' = \text{Beban ultimate} \times \text{Faktor sling } 60^\circ \times \text{Faktor kejut}$

$$W' = 2898,14 \text{ kg} \times 1,16 \times 1,5$$

$$W' = 5042,76 \text{ kg}$$

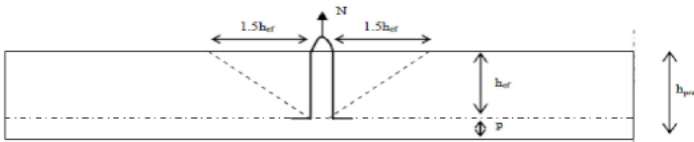
Dengan asumsi, jika setiap tulangan angkur dapat menerima beban total pada komponen pracetak, sehingga:

$$N_n = W' / n = 5042,76 / 2 = 2521,379 \text{ kg} = 25213,79 \text{ N}$$

Menurut SNI 2847-2013 Lampiran D.5.2.2 kedalaman angkur dalam keadaan tarik ($k_c = 10$, angkur cor di dalam) maka:

$$h_{ef} = \sqrt[3]{\left(\frac{N_n}{k_c \sqrt{f_{ct}'}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{25213,79}{10 \sqrt{35}}\right)^2} = 56,633 \text{ mm} \approx 60 \text{ mm}$$

Dari perhitungan tersebut maka tulangan angkat (angkur) dipasang sedalam 60 mm dari permukaan balok anak pracetak



Gambar 4. 16 Pengangkuran Tulangan Angkat Pelat Pracetak
(*PCI Precast and Prestressed Concrete 7th figure 6.5.1*)

Panjang tulangan angkur setidaknya mencapai garis retak yang terjadi saat beton terjadi jebol (*breakout*) yang terbesar dari:

$$de = \frac{h_{ef}}{\tan 35^\circ} = \frac{60}{\tan 35^\circ} = 85,69 \text{ mm}$$

$$de = 1,5 h_{ef} = 1,5 \times 60 = 90 \text{ mm}$$

Maka digunakan $de = 90 \text{ mm}$

b. Menghitung Kebutuhan Strand

$P = 2043,19 \text{ kg}$ (beban 1 titik angkat)

Berdasarkan *PCI Handbook 6th Edition Precast and Prestressed Concrete* tabel *Design Aid 11.2.3 Properties and Design Strengths of Prestressing Strand and Wire*. Maka digunakan *Seven Wire Strand* dengan spesifikasi dibawah ini:

Diameter	= 1/4 in	= 6,35 mm
fpu	= 250 ksi	= 1724 MPa
A	= 0,036 in	= 23,36 mm ²
F strand	= 1724 x 23,36 = 40272,64 kg	

Maka gaya yang dipikul 1 Strand = 40272,64 / 2
= 20136,32 kg

Kontrol: $P < F \text{ strand}$

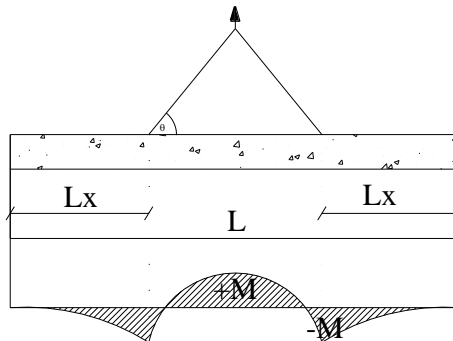
2043,19 kg < 20136,32 kg (memenuhi)

Jadi dipakai *Seven Wire Strand* diameter 1/4 in (fpu = 250 ksi)

4.2.2.7 Kontrol Balok Pracetak

a) Kontrol Tulangan Angkat dan Tegangan Akibat Pengangkatan

Balok induk dibuat secara pracetak di pabrik. Elemen balok harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses pengangkatan. Titik pengangkatan dan kekuatan tulangan angkat harus menjamin keamanan elemen balok tersebut dari kerusakan.



Gambar 4. 17 Momen Saat Pengangkatan Balok Induk

Dimana :

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \times \operatorname{tg} \theta} \right)$$

$$-M = \frac{WX^2L^2}{2}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4Y_c}{L \times \operatorname{tg} \theta}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{Y_t}{Yb} \left(1 + \frac{4Y_c}{L \times \operatorname{tg} \theta} \right)} \right)}$$

➤ **Kondisi sebelum komposit**

$$b = 30 \text{ cm}$$

$$h = 36 \text{ cm}$$

$$L = 685 \text{ cm}$$

Perhitungan :

$$Y_t = Y_b = \frac{(36)}{2} = 18 \text{ cm}$$

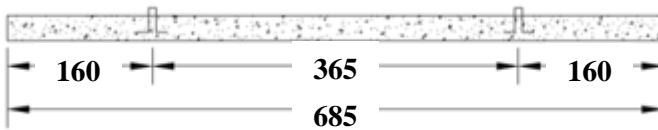
$$Y_c = Y_t + 5 = 18 + 5 = 23 \text{ cm}$$

Sudut pengangkatan (45°)

$$X = \frac{1 + \frac{4 \times 23}{685 \times \operatorname{tg} 45^\circ}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{18}{18} \left(1 + \frac{4 \times 23}{685 \times \operatorname{tg} 45^\circ} \right)} \right)} = 0,230$$

$$X \times L = 0,230 \times 685 = 157,87 \text{ cm} = 160 \text{ m}$$

$$L - 2 \times (X \times L) = 685 - 2 \times (160) = 365 \text{ cm}$$



Gambar 4. 18 Letak Titik Pengangkatan

➤ **Pembebanan**

Balok = $0,3 \times 0,36 \times 2360 = 254,88 \text{ kg/m}$

Balok induk dibuat secara pracetak di pabrik. Elemen balok harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses pengangkatan. Tempat pengangkatan dan kekuatan tulangan angkat harus menjamin keamanan elemen balok tersebut dari kerusakan.

Pengangkatan balok induk pracetak dilakukan dengan 2 titik angkat pada saat umur 3 hari, sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah:

$f_{ci} \text{ (3 hari)} = 0,46 \times 35 \text{ MPa} = 16 \text{ MPa}$

f_{cr} untuk beton 3 hari adalah

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f_{c'}} = 0,7 \times \sqrt{16} = 2,81 \text{ MPa}$$

➤ Menghitung momen tahanan

$$W_t = \frac{1}{6} \times b \times h^2$$

$$W_t = \frac{1}{6} \times 300 \times 360^2$$

$$= 6480000 \text{ mm}^3$$

Dalam upaya untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan faktor akibat pengangkatan sebesar 1,2 sebagai berikut:

- Momen lapangan

$$+ M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \times \tan \theta} \right)$$

$$+M = \left(\frac{254,88 \times 6,85^2}{8} \left(1 - 4 \times 0,230 + \frac{4 \times 0,23}{6,85 \times \tan 45} \right) \right) \times 1,2$$

$$= 381,129 \text{ kgm}$$

- Tegangan yang terjadi

$$f = \frac{M}{W_t} = \frac{381,129 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 300 \times 360^2}$$

$$= 0,588 \text{ MPa} \leq f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} = 2,81 \text{ MPa (OK)}$$

- Momen tumpuan

$$-M = \frac{WX^2L^2}{2}$$

$$-M = \left(\frac{254,88 \times 0,230^2 \times 6,85^2}{2} \right) \times 1,2 = 381,129 \text{ kgm}$$

- Tegangan yang terjadi

$$f = \frac{M}{W_t} = \frac{381,129 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 300 \times 360^2}$$

$$= 0,588 \text{ MPa} \leq f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} = 2,81 \text{ MPa (OK)}$$

Dari perhitungan momen diatas, didapatkan nilai f' akibat momen positif dan negatif berada dibawah nilai $f'_{r_{ijin}}$ usia beton 3 hari. Jadi dapat ditarik kesimpulan, balok anak tersebut aman dalam menerima tegangan akibat pengangkatan.

b) Kontrol Tegangan Saat Penumpukkan

Penumpukan balok anak pracetak dilakukan dengan 4 tumpuan pada saat umur 3 hari, sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah:
 $f_{ci} (3 \text{ hari}) = 0,46 \times 35 \text{ MPa} = 16 \text{ MPa}$

fc_r untuk beton 3 hari adalah

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f_c'} = 0,7 \times \sqrt{16} = 2,81 \text{ MPa}$$

Pada saat pengangkatan ditambahkan koefisien beban = 1,2

$$Q_d = 1,2 \times (b \times h \times 2360 \text{ kg/m}^3)$$

$$Q_d = 1,2 \times (0,3 \times 0,36 \times 2360)$$

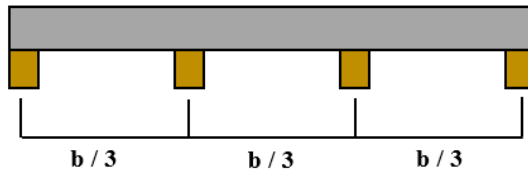
$$Q_d = 305,86 \text{ kg/m}^2$$

$$P_u = 1,6 \times (2 \times 100 \text{ kg}) = 320 \text{ kg}$$

$$W = 1/6 \times b \times h^2 = 1/6 \times 300 \times 360^2 = 6480000 \text{ mm}^3$$

$$L = b / 3 = 6,85 \text{ m} / 3 = 2,283 \text{ m}$$

Penumpu = 4 buah



$$\begin{aligned} M. \text{ lapangan} &= \left(\frac{1}{10} \times Q_d \times L^2 \right) + (0,25 \times P_u \times L) \\ &= \left(\frac{1}{10} \times 305,86 \times 2,28^2 \right) + (0,25 \times 320 \times 2,28) \\ &= 342,128 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Faktor kejut = 1,5

$$M. \text{ lapangan} = 1,5 \times 342,128 \text{ kgm} = 513,192 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned} M. \text{ tumpuan} &= \left(\frac{1}{8} \times Q_d \times L^2 \right) \\ &= \left(\frac{1}{8} \times 305,86 \times 2,28^2 \right) \\ &= 199,327 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Faktor kejut = 1,5

$$M. \text{ tumpuan} = 1,5 \times 199,327 \text{ kgm} = 298,990 \text{ kgm}$$

- Kontrol Tegangan:

$$\sigma_x = \frac{M_{lap}}{W} = \frac{513,192 \times 10^4}{6480000} = 0,79 \text{ MPa} < f_r = 2,81 \text{ MPa}$$

(memenuhi)

$$\sigma_y = \frac{M_{tump}}{W} = \frac{298,990 \times 10^4}{6480000} = 0,46 \text{ MPa} < f_r = 2,81 \text{ MPa}$$

(memenuhi)

- Kontrol Jumlah Penumpukan:

Digunakan penyangga dari balok kayu 6/12

Luas bidang kontak, $A = 0,06 \times 4$ balok kayu

$$= 0,24 \text{ m}^2 = 240000 \text{ mm}^2$$

$$P = 1,2 ((L \times 2360 \text{ kg/m}^3 \times a \times b) + 1,6 (2 \times \text{beban pekerja}))$$

$$P = 1,2 (6,85 \text{ m} \times 2360 \text{ kg/m}^3 \times 0,3 \text{ m} \times 0,36 \text{ m}) + 1,6 (2 \times 100 \text{ kg})$$

$$P = 2415,114 \text{ kg} = 24151,136 \text{ N}$$

$$f = \frac{P}{A} = \frac{24151,136}{240000} = 0,101 \text{ MPa}$$

$$\text{Jumlah Penumpukan} = \frac{f_r}{f_{xSF}} = \frac{2,81}{0,101 \times 3} = 9,30 \approx 9 \text{ tumpukan}$$

c) Kontrol Tegangan Saat Pemasangan

Pemasangan balok anak pracetak dilakukan pada saat umur 7 hari, sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah:

$$f_{ci} (7 \text{ hari}) = 0,7 \times 35 \text{ MPa} = 25 \text{ MPa}$$

f_{cr} untuk beton 7 hari adalah

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f_{c'}} = 0,7 \times 25 = 3,46 \text{ MPa}$$

Pada saat pemasangan ditambahkan koefisien beban = 1,2 sehingga:

$$Q_d = 1,2 \times (b \times h \times 2360 \text{ kg/m}^3)$$

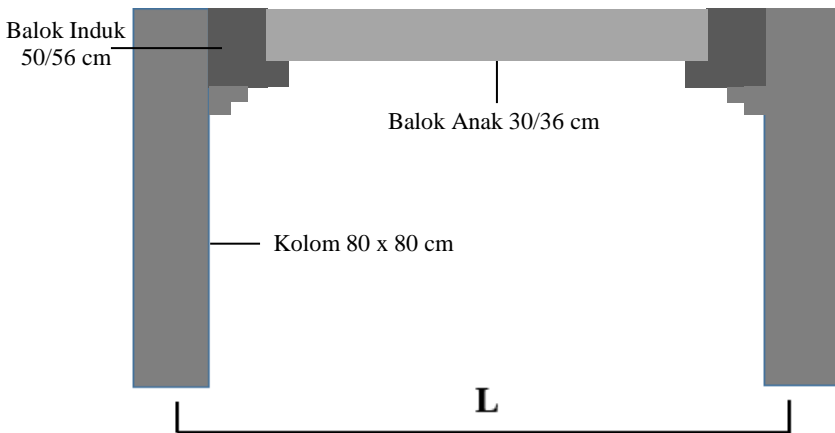
$$Q_d = 1,2 \times (0,3 \times 0,36 \times 2360)$$

$$Q_d = 305,86 \text{ kg/m}^2$$

$$P_u = 1,6 \times (100 \text{ kg} \times 2) = 320 \text{ kg}$$

$$W = 1/6 \times b \times h^2 = 1/6 \times 300 \times 360^2 = 6480000 \text{ mm}^3$$

$$L = b = 6,85 \text{ m}$$



Asumsi saat pemasangan balok anak pracetak, sehingga perhitungan momen:

$$\begin{aligned}
 M. \text{ lapangan} &= \left(\frac{1}{10} \times Qd \times L^2 \right) + (0,25 \times Pu \times L) \\
 &= \left(\frac{1}{10} \times 305,86 \times 6,85^2 \right) + (0,25 \times 320 \times 6,85) \\
 &= 632,788 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Faktor kejut = 1,5

$$M. \text{ lapangan} = 1,5 \times 632,788 \text{ kgm} = 949,182 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned}
 M. \text{ tumpuan} &= \left(\frac{1}{8} \times Qd \times L^2 \right) \\
 &= \left(\frac{1}{8} \times 305,86 \times 6,85^2 \right) \\
 &= 645,819 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Faktor kejut = 1,5

$$M. \text{ tumpuan} = 1,5 \times 645,819 \text{ kgm} = 968,728 \text{ kgm}$$

- Kontrol Tegangan:

$$\sigma_x = \frac{M_{lap}}{W} = \frac{949,182 \times 10^4}{6480000} = 1,46 \text{ MPa} < f_r = 3,46 \text{ MPa}$$

(memenuhi)

$$\sigma_y = \frac{M_{tump}}{W} = \frac{968,728 \times 10^4}{6480000} = 1,49 \text{ MPa} < f_r = 3,46 \text{ MPa}$$

(memenuhi)

d) Kontrol Tegangan Saat Pengecoran

Pengecoran balok anak pracetak dilakukan pada saat umur 7 hari, sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah:

$$f_{ci} (7 \text{ hari}) = 0,7 \times 35 \text{ MPa} = 25 \text{ MPa}$$

f_{cr} untuk beton 7 hari adalah

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f_{ci}} = 0,7 \times \sqrt{25} = 3,46 \text{ MPa}$$

Pada saat pengecoran ditambahkan koefisien beban = 1,2 sehingga:

Berat sendiri balok anak pracetak sesudah komposit:

$$Q_d = 1,2 \times (b \times h \times 2360 \text{ kg/m}^3)$$

$$Q_d = 1,2 \times (0,3 \times 0,5 \times 2360)$$

$$Q_d = 424,80 \text{ kg/m}^2$$

Berat sendiri pelat pracetak sesudah komposit:

$$Q_d = 1,2 \times (t_{\text{pelat}} \times a \times 2360 \text{ kg/m}^3)$$

$$Q_d = 1,2 \times (0,14 \times 2,1 \times 2360)$$

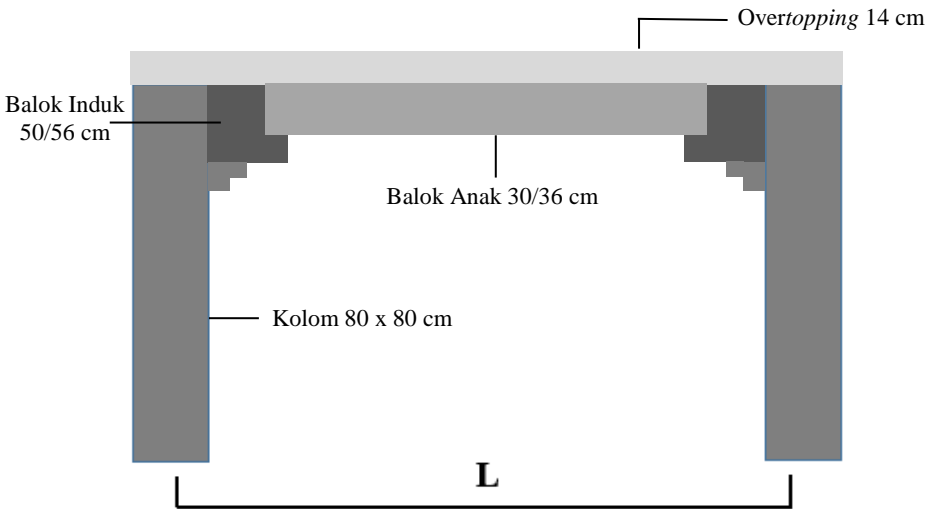
$$Q_d = 832,61 \text{ kg/m}^2$$

$$Q_d \text{ total} = 1257,41 \text{ kg/m}^2$$

$$P_u = 1,6 \times (100 \text{ kg} \times 2) = 320 \text{ kg}$$

$$W = 1/6 \times b \times h^2 = 1/6 \times 300 \times 500^2 = 12500000 \text{ mm}^3$$

$$L = b = 6,85 \text{ m}$$



Asumsi saat pengecoran balok anak pracetak, sehingga perhitungan momen:

$$\begin{aligned}
 M. \text{ lapangan} &= \left(\frac{1}{10} \times Qd \times L^2 \right) + (0,25 \times Pu \times L) \\
 &= \left(\frac{1}{10} \times 1257,41 \times 6,85^2 \right) + (0,25 \times 320 \times 6,85) \\
 &= 1749,018 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Faktor kejut = 1,5

$$M. \text{ lapangan} = 1,5 \times 1749,018 \text{ kgm} = 2623,527 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned}
 M. \text{ tumpuan} &= \left(\frac{1}{8} \times Qd \times L^2 \right) \\
 &= \left(\frac{1}{8} \times 1257,41 \times 6,85^2 \right) \\
 &= 2655,033 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Faktor kejut = 1,5

$$M. \text{ tumpuan} = 1,5 \times 2655,033 \text{ kgm} = 3982,549 \text{ kgm}$$

- Kontrol Tegangan:

$$\sigma_x = \frac{M_{lap}}{W} = \frac{2623,527 \times 10^4}{12500000} = 2,10 \text{ MPa} < f_r = 3,46 \text{ MPa} \quad (\text{memenuhi})$$

$$\sigma_y = \frac{M_{tump}}{W} = \frac{3982,549 \times 10^4}{12500000} = 3,19 \text{ MPa} < f_r = 3,4 \text{ MPa} \quad (\text{memenuhi})$$

4.2.2.8 Kontrol Lendutan

Komponen struktur beton yang mengalami lentur harus dirancang agar memiliki kekakuan cukup untuk batas deformasi yang akan memperlemah kemampuan layan struktur saat bekerja. Sesuai SNI 03 – 2847 – 2013, syarat tebal minimum balok dengan dua tumpuan apabila lendutan tidak dihitung adalah sebagai berikut:

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times lb$$

Lendutan tidak perlu dihitung sebab sejak preliminary design telah direncanakan agar tinggi dari masing-masing tipe balok lebih besar dari persyaratan h_{\min} .

4.2.2.9 Penulangan Balok Anak yang Terpasang

Penulangan balok anak yang terpakai atau yang akan dipasang adalah dipilih penulangan yang paling banyak dari kedua keadaan diatas (keadaan sebelum komposit, saat pengangkatan, dan sesudah komposit) yaitu sebagai berikut:

Tabel 4. 8 Tulangan Tumpuan Terpasang pada Balok Anak

Tipe Balok Anak	L	B	h	Tulangan Tumpuan		Sengkang	Tulangan Angkat
	mm	Mm	mm	Atas	Bawah		
BA1	7200	300	500	5D19	4D19	2Ø10-200 mm	2D10
BA2	4800	300	500	2D19	2D19	2Ø10-200 mm	2D10
BA3	3600	300	500	2D19	2D19	2Ø10-200 mm	2D10
BA4	5125	300	500	2D19	2D19	2Ø10-200 mm	2D10
BA5	1200	300	500	2D19	2D19	2Ø10-200 mm	2D10

Tabel 4. 9 Tulangan Lapangan Terpasang pada Balok Anak

Tipe Balok Anak	L	B	h	Tulangan Lapangan		Sengkang	Tulangan Angkat
	mm	Mm	mm	Atas	Bawah		
BA1	7200	300	500	2D19	4D19	2Ø10-200 mm	2D10
BA2	4800	300	500	2D19	2D19	2Ø10-200 mm	2D10
BA3	3600	300	500	2D19	2D19	2Ø10-200 mm	2D10
BA4	5125	300	500	2D19	2D19	2Ø10-200 mm	2D10
BA5	1200	300	500	2D19	2D19	2Ø10-200 mm	2D10

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

4.2.3 Perencanaan Tangga

Pada perencanaan ini, struktur tangga dimodelkan dengan menggunakan aplikasi SAP 2000 v14. Struktur tangga ke atas dan ke bawah tipikal.

4.2.3.1 Data Perencanaan

Data perencanaan yang diperlukan untuk merencanakan konstruksi tangga adalah sebagai berikut:

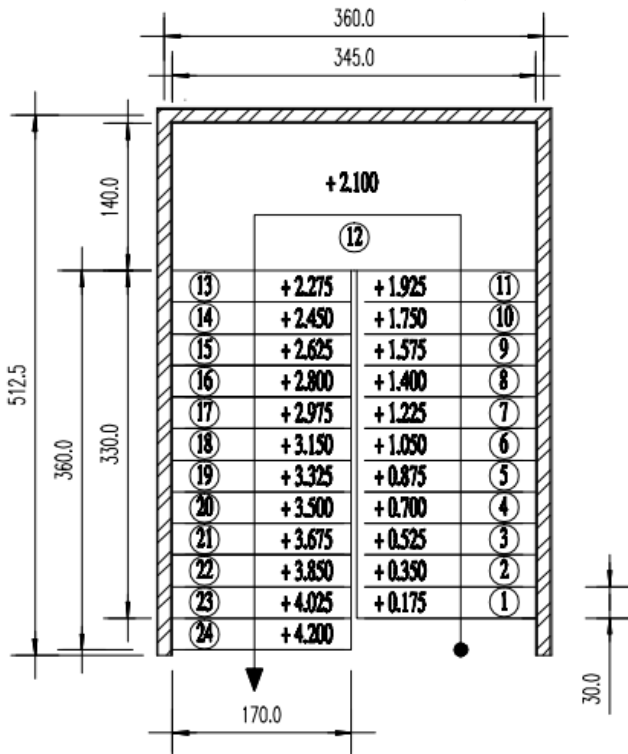
- Mutu beton (f_c') = 35 Mpa
- Mutu baja (f_y) = 400 Mpa
- Tinggi antar lantai = 420 cm
- Panjang bordes = 140 cm
- Lebar bordes = 345 cm
- Lebar tangga = 170 cm
- Tebal pelat tangga (t_p) = 20 cm
- Tebal pelat bordes = 20 cm
- Tinggi injakan (t) = 17,5 cm
- Lebar injakan (i) = 30 cm
- Jumlah tanjakan (n_T) = $\frac{\text{Tinggi lantai}}{t} = 24 \text{ buah}$
- Jumlah injakan (n_i) = $n_T - 1 = 23 \text{ buah}$
- Jumlah tanjakan ke bordes = 12 buah
- Jumlah tanjakan dari bordes ke lantai 2 = 12 buah
- Elevasi bordes = 210 cm
- Panjang horizontal plat tangga = $i \times \text{jumlah injakan}$
 $= 30 \times 11 = 330 \text{ cm}$
- Kemiringan tangga (α)

$$\tan \alpha = \frac{\text{elevasi bordes}}{\text{panjang horisontal plat tangga}} = \frac{210}{330} = 0,636$$

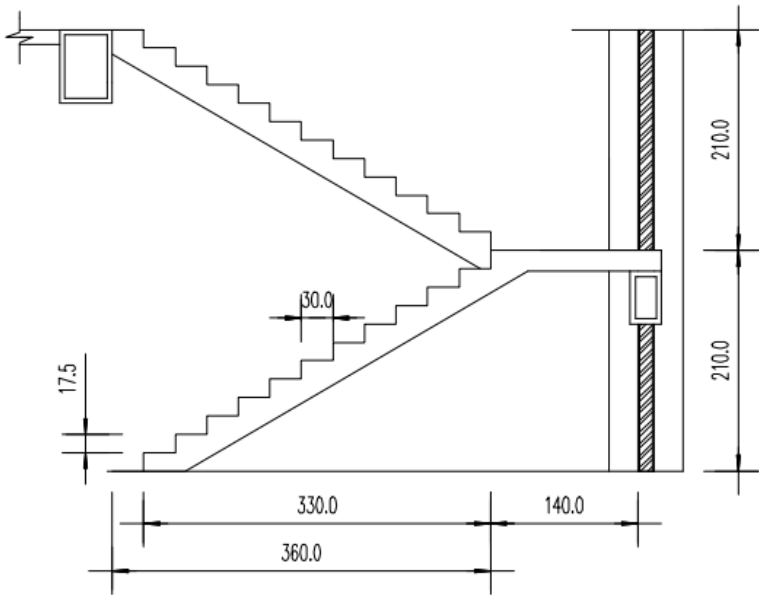
Jadi, $\alpha = 32,46^\circ$

Cek syarat :

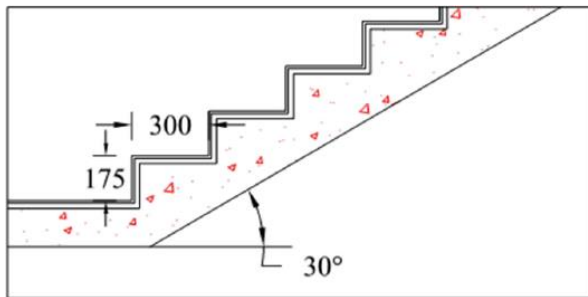
- $60 \leq (2t + i) \leq 65$
 $60 \leq (2 \times 17,5 + 30) \leq 65$
 $60 \leq 65 \leq 65 \dots \dots \dots (\text{OK})$
- $25 \leq \alpha \leq 40$
 $25 \leq 32,46^\circ \leq 40 \dots (\text{OK})$
- Tebal plat rata-rata anak tangga = $(i/2) \sin \alpha$
 $= (30/2) \sin 32,46^\circ$
 $= 8,05 \text{ cm}$
- Tebal plat rata-rata = $t_p + t_r = 20 + 8,05$
 $= 28,05 \text{ cm} \approx 29 \text{ cm}$



Gambar 4. 19 Perencanaan Tangga Tampak Atas



Gambar 4. 20 Potongan Tangga



Gambar 4. 21 Dimensi Injakan dan Tanjakan Anak Tangga

4.2.3.2 Perhitungan Pembebanan dan Analisa Struktur

a. Pembebanan Tangga

Beban Mati (DL)

$$\text{Pelat tangga} = \frac{0,29}{\cos 32,46^0} \times 2360 = 811,125 \text{ kg/m}$$

$$\text{Keramik + Spesi (2,5 cm)} = 110 \text{ kg/m}$$

$$\text{Sandaran} = \underline{50 \text{ kg/m} +}$$

$$\text{Total (DL)} = 971,125 \text{ kg/m}$$

$$\text{Beban Hidup (LL): } 1 \text{ m} \times 479 \text{ kg/m}^2 = 479 \text{ kg/m}$$

Kombinasi Beban:

$$Q_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

$$= 1,2 (971,125) + 1,6 (479)$$

$$= 1931,75 \text{ kg/m}$$

b. Pembebanan Pelat Bordes

Beban Mati (DL)

$$\text{Pelat bordes} = 0,2 \times 2360 \times 1 \text{ m} = 472 \text{ kg/m}$$

$$\text{Keramik + Spesi (2,5 cm)} = 2,5 \times 44 \times 1 \text{ m} = \underline{110 \text{ kg/m} +}$$

$$\text{Total (DL)} = 582 \text{ kg/m}$$

$$\text{Beban Hidup (LL): } 1 \text{ m} \times 479 \text{ kg/m}^2 = 479 \text{ kg/m}$$

Kombinasi Beban:

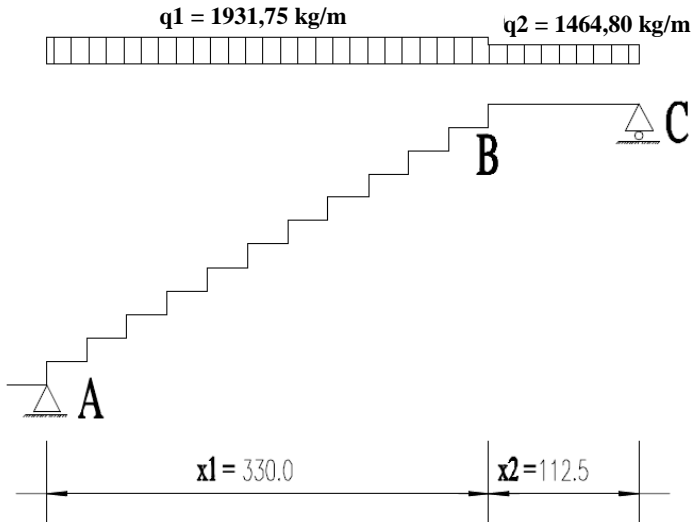
$$Q_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

$$= 1,2 (582) + 1,6 (479)$$

$$= 1464,80 \text{ kg/m}$$

4.2.3.3 Perhitungan Beban Pelat Bordes

Pada proses perhitungan beban pelat bordes tangga ini, menggunakan perhitungan statis tak tentu dengan menggunakan perletakan Sendi-Rol, dimana pembebanan tangga dan output seperti dibawah ini:



Gambar 4. 22 Sketsa Beban Pada Tangga

- $\sum M_A = 0$
 $(RC \times 4,425) - (q_2 \times 1,125 \times (0,5625 + 3,3)) - (q_1 \times 3,3 \times 1,65) = 0$
 $(RC \times 4,425) - 6365,01 - 10518,38 = 0$
 $RC = 3815,456 \text{ kg}$
- $\sum M_C = 0$
 $(RA \times 4,425) - (q_2 \times 1,125 \times 0,5625) - (q_1 \times 3,3 \times (1,65 + 1,125)) = 0$
 $(RA \times 4,425) - 926,944 - 17690 = 0$
 $RA = 4207,219 \text{ kg}$
- $\sum H = 0$
 $H_A = 0$

Kontrol

- $\sum V_A = 0$
 $RA + RC - (q_2 \times 1,125) - (q_1 \times 3,3) = 0$
 $4207,219 + 3815,456 - (1464,80 \times 1,125) - (1931,75 \times 3,3) = 0$
 $0 = 0 \dots\dots (\text{OK})$

Pelat Bordes C-B (1,125 m)

a. Gaya Momen (M)

$$M_{x_1} = R_C \times x_2 - \frac{1}{2} q_2 \times x_2^2$$

$$M_C = 0$$

$$M_B = R_C \times x_2 - \frac{1}{2} q_2 \times x_2^2$$

$$\begin{aligned} M_B &= 3815,456 \times 1,125 - \frac{1}{2} \times 1464,80 \times 1,125^2 \\ &= 3365,444 \text{ kgm} \end{aligned}$$

b. Gaya Lintang (D)

$$\text{Titik C} \quad D_{C \text{ kiri}} = R_C = 3815,456 \text{ kg}$$

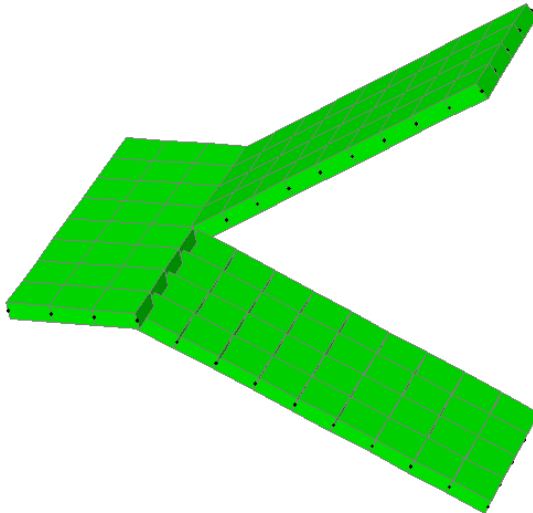
$$\text{Titik B} \quad D_{B \text{ kanan}} = R_C - (q_2 \times 1,125) = 2167,56 \text{ kg}$$

c. Gaya Normal (N)

$$N_{C-B} = 0 \text{ kg}$$

4.2.3.4 Permodelan Tangga

Untuk pelat tangga dan pelat bordes dimodelkan sebagai berikut menggunakan program bantu SAP 2000 v14:



Gambar 4. 23 Permodelan Pelat Tangga dan Pelat Bordes pada SAP 2000 v14

4.2.3.5 Analisis Struktur Pelat Tangga dan Pelat Bordes

Untuk momen yang terjadi pada pelat tangga dan pelat bordes menggunakan program bantu SAP 2000 v14, didapatkan momen yang terjadi pada pelat tangga dan pelat bordes adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 24 Momen Maksimum Pelat Tangga pada SAP 2000 v14

- Momen maksimum pelat tangga (Area 17229) pada kombinasi pembebanan $1.32DL+1.3EX+1.0LL+0.2Lr = 9487,16 \text{ kgm}$



Gambar 4. 25 Momen Maksimum Pelat Bordes pada SAP 2000 v14

- Momen maksimum pelat tangga (Area 17238) pada kombinasi pembebanan $1.32DL+1.3EX+1.0LL+0.2Lr = 4912,84 \text{ kgm}$

4.2.3.6 Perhitungan Tulangan Pelat Tangga dan Bordes

▪ Perhitungan Penulangan Pelat Tangga

Data – Data Perencanaan

Mutu beton (f'_c)	= 35 MPa
Mutu baja (f_y)	= 400 MPa
Berat jenis beton	= 2360 kg/m ³
D tulangan lentur	= 16 mm
D tulangan susut	= 13 mm
Tebal pelat tangga	= 200 mm
Tebal pelat bordes	= 200 mm
Tebal selimut beton	= 20 mm
AD16	= 200,96 mm ²
AD13	= 132,665 mm ²

- Menurut SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3 nilai β_1 ditentukan sebesar:

Tabel 4. 10 Tabel β_1

f'_c	28	35	42
(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
β_1	0,85	0,8	0,75

- Untuk mutu beton $f'_c = 35$ MPa berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3 harga dari β_1 adalah sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,8 + \frac{(30-28)}{(f'_c-28)} \times 0,05 \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,8 + \frac{(30-28)}{(35-28)} \times 0,05 \geq 0,65 = 0,81$$

Dengan demikian maka batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang diisyaratkan adalah sebagai berikut:

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 0,81 \times 35}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0363$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,0363 = 0,0273$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

$$dx = 200 - 20 - (0,5 \times 16) = 172 \text{ mm}$$

$$dy = 200 - 20 - 16 (0,5 \times 13) = 157,5 \text{ mm}$$

Penulangan pelat tangga

➤ Tulangan utama

$$M_{\max} = 9487,161 \text{ kgm} = 94871609 \text{ kgm Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times b \times d^2} = \frac{94871609}{0,8 \times 1000 \times 172^2} = 4,01$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 4,01}{400}} \right) = 0,0108$$

$$\text{Syarat: } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,00350 < 0,0108 < 0,0273 \text{ (Memenuhi)}$$

dipakai $\rho_{\text{perlu}} = 0,0108$ sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times dx$$

$$= 0,0108 \times 1000 \times 172 = 1858,72 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah:

Jarak tulangan utama $\leq 3 \times$ tebal pelat, maka:

$$S \leq 3 \times 200 = 600 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s \text{ D16}}} \\
 &= \frac{1858,72}{200,96} = 9,25 \approx \text{dipakai 10 buah}
 \end{aligned}$$

Jarak tulangan, $S = 1000/10 = 100 \text{ mm} < S_{\text{maks}} \dots \text{(OK)}$

Maka diambil $S \text{ pakai} = 100 \text{ mm}$

Sehingga, $A_{s \text{ pakai}} = \text{Jumlah tulangan per meter} \times A_{s \text{ D16}}$

$$= 10 \times 200,96$$

$$= 2010 \text{ mm}^2$$

$$= 2010 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ perlu}} = 1858,7 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

- Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1

$$A_{s \text{ min}} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b w d x = \frac{0,25 \sqrt{35}}{400} 1000 \times 172 = 636 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{1,4}{f_y} b w d x = \frac{1,4}{400} 1000 \times 172 = 602 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ pakai}} = 2010 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ min}} \text{ (Memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan lentur D16-100 mm

- Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d x} = \frac{n \times A_{s \text{ D16}}}{b \times d x} = \frac{10 \times 200,96}{1000 \times 172} = 0,01168 > \rho_{\text{perlu}} = 0,0108$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times b \times f_c'} = \frac{(n \times A_{s \text{ D16}}) \times f_y}{0,85 \times b \times f_c'} = \frac{2010 \times 400}{0,85 \times 1000 \times 35} = 27,02 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \phi \times A_s \times f_y \left(d x - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,8 \times 2010 \times 400 \left(172 - \frac{27,02}{2} \right) \\
 &= 10192,054 \text{ kgm} > M_u = 9487,161 \text{ kgm} \dots \dots \dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Cek Penampang

$$\frac{a}{dx} = \frac{27,02}{172} = 0,157$$

$$\frac{c}{dx} = 0,375 \times \beta_1 = 0,375 \times 0,81 = 0,305$$

Maka, $a/dt < c/dt$ OK

➤ Penulangan lentur arah melintang pelat

Pada penulangan arah Y dipasang tulangan pembagi untuk menahan susut dan suhu dengan $\rho_{\min} = 0,002$ (SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.1)

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= 0,002 \times b \times d_y \\ &= 0,002 \times 1000 \times 157,5 = 315 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.2 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan minimum, } S &\leq 5 \times \text{tebal pelat, maka:} \\ &\leq 5 \times 200 \\ &\leq 1000 \text{ mm} \\ S &\leq 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{D13}}} \\ &= \frac{315}{132,665} = 2,37 \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan, } S = 1000/3 = 333,33 \text{ mm} < S_{\text{maks}} \dots \text{ (OK)}$$

Maka diambil S pakai = 300 mm

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, } A_{s\text{pakai}} &= \text{Jumlah tulangan per meter} \times A_{s\text{D13}} \\ &= 3 \times 132,665 \\ &= 398 \text{ mm}^2 \\ &= 398 \text{ mm}^2 > A_{s\text{perlu}} = 315 \text{ mm}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

- Kontrol kebutuhan tulangan, dipakai tulangan D13-300

$$A_{s\text{pakai}} = \frac{A_{s\text{D13}} \times b}{S_{\text{pakai}}} = \frac{132,665 \times 1000}{300} = 442 \text{ mm}^2$$

Syarat: $A_{s\text{pakai}} > A_{s\text{perlu}}$

$$442 \text{ mm}^2 > 315 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan susut D13-300 mm.

Penulangan pelat bordes

➤ Tulangan utama

$$M_{\max} = 4912,840 \text{ kgm} = 49128400 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times 1000 \times d_y^2} = \frac{49128400}{0,8 \times 1000 \times 172^2} = 2,08$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 2,08}{400}} \right) = 0,0054 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat: } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,00350 < 0,0054 < 0,0273 \text{ (**Memenuhi**)}$$

dipakai $\rho_{\text{perlu}} = 0,0054$ sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d_x \\ &= 0,0054 \times 1000 \times 172 = 926,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah:

Jarak tulangan utama $\leq 3 \times$ tebal pelat, maka:

$$S \leq 3 \times 200$$

$$S \leq 600 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_s \text{ D16}} \\ &= \frac{926,12}{200,96} = 4,61 \approx \text{dipakai 5 buah} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan, } S = 1000/5 = 200 \text{ mm} < S_{\max} \text{ (OK)}$$

Maka diambil S pakai = 200 mm

Sehingga, $A_s \text{ pakai} = \text{Jumlah tulangan per meter} \times A_s \text{ D16}$

$$= 5 \times 200,96$$

$$= 1005 \text{ mm}^2$$

$$= 1005 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = 926,12 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1

$$\text{As min} = \frac{0,25 \sqrt{f'c'}}{f_y} b w d x = \frac{0,25 \sqrt{35}}{400} 1000 \times 172 = 636 \text{ mm}^2$$

$$\text{As min} = \frac{1,4}{f_y} b w d x = \frac{1,4}{400} 1000 \times 172 = 602 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai} = 1005 \text{ mm}^2 > \text{As min (Memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan lentur D16-200 mm

• Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{\text{As}}{b \times d x} = \frac{n \times \text{AsD13}}{b \times d x} = \frac{5 \times 200,96}{1000 \times 172} = 0,00584 > \rho_{\text{perlu}} = 0,0054$$

$$a = \frac{\text{As} \times f_y}{0,85 \times b \times f'c'} = \frac{(n \times \text{AsD16}) \times f_y}{0,85 \times b \times f'c'} = \frac{1005,4 \times 400}{0,85 \times 1000 \times 35} = 13,51 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Mn} &= \phi \times \text{As} \times f_y \left(d x - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 1005 \times 400 \left(172 - \frac{13,51}{2} \right) \\ &= 5313,223 \text{ kgm} > \text{Mu} = 4912,84 \text{ kgm} \dots\dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

• Cek Penampang

$$\frac{a}{d x} = \frac{13,51}{172} = 0,079$$

$$\frac{c}{d x} = 0,375 \times \beta_1 = 0,375 \times 0,81 = 0,305$$

Maka, $a/dx < c/dx$ OK

➤ Penulangan lentur arah melintang pelat

Pada penulangan arah Y dipasang tulangan pembagi untuk menahan susut dan suhu dengan $\rho_{\text{min}} = 0,002$ (SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.1)

$$\text{As}_{\text{perlu}} = 0,002 \times b \times d$$

$$= 0,002 \times 1000 \times 157,5 = 315 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.2 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan minimum, } S &\leq 5 \times \text{tebal pelat, maka:} \\ &\leq 5 \times 200 \\ &\leq 1000 \text{ mm} \\ S &\leq 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ D13}}} \\ &= \frac{315}{132,665} = 2,37 \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

Jarak tulangan, $S = 1000/3 = 333,33 \text{ mm} < S_{\text{maks}} \dots (\text{OK})$

Maka diambil $S \text{ pakai} = 300 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, } A_{s \text{ pakai}} &= \text{Jumlah tulangan per meter} \times A_{s \text{ D13}} \\ &= 3 \times 132,665 \\ &= 398 \text{ mm}^2 \\ &= 398 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ perlu}} = 315 \text{ mm}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

- Kontrol kebutuhan tulangan, dipakai tulangan D13-300

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{A_{s \text{ D13}} \times b}{S \text{ pakai}} = \frac{132,665 \times 1000}{300} = 442 \text{ mm}^2$$

Syarat: $A_{s \text{ pakai}} > A_{s \text{ perlu}}$

$$442 \text{ mm}^2 > 315 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan susut D13-300 mm.

- Perencanaan dimensi balok bordes

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times L = \frac{1}{16} \times 345 = 22 \approx 50 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 22 = 14,375 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm}$$

Dipakai dimensi balok bordes 30/50

- Pembebanan Balok Bordes

Beban Mati

$$\text{Berat sendiri balok} = 0,3 \times 0,5 \times 2360 = 354 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat dinding} = 2,1 \times (600 \times 0,15) = 189 \text{ kg/m} +$$

$$q_d = 543 \text{ kg/m}$$

$$q_d \text{ ultimate} = 1,2 \times q_d = 1,2 \times 543 = 651,6 \text{ kg/m}$$

$$\text{beban pelat bordes} = 3815,456 \text{ kg/m} +$$

$$q_u = 4467,056 \text{ kg/m}$$

$$\text{Momen lapangan} = \frac{1}{24} \times q_u \times L^2$$

$$= \frac{1}{24} \times 4467,056 \times 3,6^2$$

$$= 2412,210 \text{ kgm}$$

$$= 24122102,03 \text{ Nmm}$$

$$\text{Momen tumpuan} = \frac{1}{12} \times q_u \times L^2$$

$$= \frac{1}{12} \times 4467,056 \times 3,6^2$$

$$= 4824,420 \text{ kgm}$$

$$= 48244204,07 \text{ Nmm}$$

$$V_u \text{ total} = 0,5 \times q_u \times L = 0,5 \times 4467,056 \times 3,6 = 8040,701 \text{ kg}$$

▪ Penulangan Lentur Balok Bordes

Direncanakan:

$$\text{Diameter sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan utama} = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Sehingga, } d = 500 - 50 - 10 - 16/2 = 432 \text{ mm}$$

- Menurut SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3 nilai β_1 ditentukan sebesar:

Tabel 4. 11 Tabel β_1

f'_c (Mpa)	28	35	42
	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
β_1	0,85	0,8	0,75

- Untuk mutu beton $f'_c = 35 \text{ MPa}$ berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3 harga dari β_1 adalah sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,8 + \frac{(30-28)}{(f'_c-28)} \times 0,05 \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,8 + \frac{(30-28)}{(35-28)} \times 0,05 \geq 0,65 = 0,81$$

Dengan demikian maka batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang diisyaratkan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,81 \times 35}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0363\end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,0363 = 0,0273$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

➤ Penulangan Lapangan

$$M_{\text{lapangan}} = 2412,210 \text{ kgm} = 24122102,03 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times b \times d^2} = \frac{24122102,03}{0,8 \times 300 \times 432^2} = 0,54$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 0,54}{400}} \right) = 0,0014\end{aligned}$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,00350 > 0,0014 < 0,0273 \text{ (**Tidak Memenuhi**)}$$

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 10.5 (3) sebagai alternatif, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

Maka ρ diperbesar 30% $\times \rho = 1,3 \times 0,0014 = 0,0018$
 dipakai $\rho = 0,0018$, sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d_x \\ = 0,0018 \times 300 \times 432 = 228,93 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan minimum, } S &\leq 3 \times \text{tebal pelat, maka:} \\ &\leq 3 \times 200 \\ &\leq 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s \text{ D16}}} \\ &= \frac{228,93}{200,96} = 1,14 \approx \text{dipakai 2 buah} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lapangan bawah 2 D16

$$\begin{aligned} A_{s'} \text{ perlu} &= 0,5 \times A_{s_{\text{perlu}}} \\ &= 0,5 \times 228,93 \text{ mm}^2 \\ &= 114,47 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s' \text{ perlu}}}{A_{s \text{ D16}}} \\ &= \frac{114,47}{200,96} = 0,57 \approx \text{dipakai 2 buah} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lapangan atas 2 D16

➤ Penulangan Tumpuan

$$M_{\text{tumpuan}} = 4824,420 \text{ kgm} = 48244204,07 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{0,8 \times b \times d^2} = \frac{48244204,07}{0,8 \times 300 \times 432^2} = 1,08$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 1,08}{400}} \right) = 0,0027 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,00350 > 0,0027 < 0,0273 \text{ (Tidak Memenuhi)}$$

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 10.5 (3) sebagai alternatif, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

Maka ρ diperbesar 30% $\times \rho = 1,3 \times 0,0027 = 0,0036$

dipakai $\rho = 0,0018$, sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times dx$$

$$= 0,0036 \times 300 \times 432 = 462,21 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah:

Jarak tulangan minimum, $S \leq 3 \times \text{tebal pelat}$, maka:

$$\leq 3 \times 200$$

$$\leq 600 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s \text{ D16}}} \\ &= \frac{462,21}{200,96} = 2,30 \approx \text{dipakai 3 buah} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan tumpuan atas 3 D16

$$\begin{aligned} A_{s' \text{ perlu}} &= 0,5 \times A_{s\text{perlu}} \\ &= 0,5 \times 462,21 \text{ mm}^2 \\ &= 231,10 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s' \text{ perlu}}}{A_{s \text{ D16}}} \\ &= \frac{231,10}{200,96} = 1,15 \approx \text{dipakai 2 buah} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan tumpuan bawah 2 D16

- Penulangan Geser Balok Bordes

$$V_u = 8040,701 \text{ kg} = 80407,007 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{35} \times 300 \times 432 = 127787,323 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 127787,323 = 95840,492 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \times 95840,492 = 47920,246 \text{ N}$$

$$V_s \text{ min} = \frac{1}{3} \times 300 \times 432 = 43200 \text{ N}$$

Karena $V_c > V_u > 0,5\phi V_c$ maka dibutuhkan tulangan geser minimum. Dipakai tulangan Ø10mm dengan mutu baja BJTP-240 ($f_y = 240 \text{ MPa}$)

$$\begin{aligned} V_s \text{ min} &= \frac{V_u}{\phi} \\ &= \frac{80407,007}{0,75} \\ &= 107209,342 \text{ N} \end{aligned}$$

$$A_v = 2 \times A_s$$

$$A_s \text{ Ø10} = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$A_v = 2 \times 78,54 = 157,08 \text{ mm}^2$$

Perhitungan jarak sengkang, dimana:

$$S_{\text{maks}} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{157,08 \times 240 \times 432}{107209,342} = 151,832 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.5.3.4 bahwa jarak maksimum antar sengkang yang tidak memerlukan sengkang tertutup tidak lebih $d/2$ sepanjang komponen struktur, maka:

$$\begin{aligned} s &\leq d/2 \\ &\leq 432/2 = 216 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, dipakai sengkang di luar sendi plastis Ø10-120 mm.

4.2.4 Perencanaan Balok Lift

4.2.4.1 Data Perencanaan

Perencanaan yang dilakukan pada lift ini meliputi balok-balok yang berkaitan dengan mesin lift. Pada bangunan ini digunakan lift penumpang yang diproduksi oleh *SIGMA Elevator Company* dengan data-data spesifikasi sebagai berikut:

Tipe Lift : IRIS NV Standard

Kapasitas : 450 Kg

Kecepatan : 1.0 m/s

Motor : 18.5 KW

Lebar pintu (*opening width*) : 800 mm

Dimensi sangkar (*car size*)

- *Car wide* (CW) : 1400 mm

- *Car depth* (CD) : 850 mm :

Dimensi ruang luncur (*hoistway size*) Duplex

- *Hoistway width* (HW) : 3750 mm

- *Hoistway depth* (HD) : 1500 mm

Beban reaksi ruang mesin

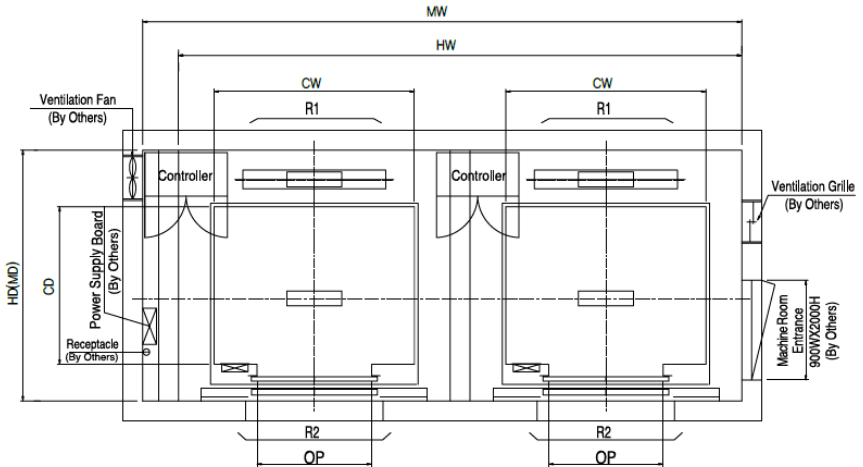
R_1 : 3600 kg

R_2 : 2000 kg

Untuk lebih jelasnya mengenai spesifikasi lift berikut disajikan dalam tabel 4.12:

Tabel 4. 12 Spesifikasi C300 Passenger Elevator

Speed (m/s)	Capacity		Opening Width (mm)	Car Size		Hoistway Size				Machine Room Size				Reaction Load			
						Simplex		Duplex		Simplex		Duplex		Machine Room		Pit	
	Person	Load(kg)		CW	CD	HW	HD	HW	HD	MW	MD	MW	MD	R1	R2	R3	R4
1.0	6	450	800	1400	850	1800	1500	3750	1500	1800	1500	3750	1500	3600	2000	3800	3150
	8	550	800	1400	1030	1800	1700	3750	1700	1800	1700	3750	1700	4050	2500	4550	3350
	9	600	800	1400	1130	1800	1750	3750	1750	1800	1750	3750	1750	4100	2500	4700	3450
	10	680	800	1400	1250	1800	1900	3750	1900	1800	1900	3750	1900	4200	2850	5000	3650
	11	750	800	1400	1350	1800	2000	3750	2000	1800	2000	3750	2000	4550	2900	5200	3750
	13	900	900	1600	1350	2000	2000	4150	2000	2000	2000	4150	2000	5100	3800	6300	4500
	15	1000	900	1600	1500	2000	2150	4150	2150	2000	2150	4150	2150	5450	4300	6600	4700
	17	1150	1000	1800	1500	2350	2200	4850	2200	2350	2200	4850	2200	8000	5200	9550	7150
			1100	2000	1350	2550	2050	5250	2050	2550	2050	5250	2050				
	20	1350	1000	1800	1700	2350	2400	4850	2400	2350	2400	4850	2400	8900	6000	10200	7500
			1100	2000	1500	2550	2200	5250	2200	2550	2200	5250	2200				
	24	1600	1100	2000	1750	2550	2450	5250	2450	2550	2450	5250	2450	10200	7000	10950	8700
				2150	1600	2700	2300	5550	2300	2700	2300	5550	2300				



Gambar 4. 26 Denah Lift

4.2.4.2 Perencanaan Dimensi Balok Lift

- **Balok Penumpu Depan dan Belakang**

Panjang balok penumpu = 480 cm

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times 480 \text{ cm} = 30 \text{ cm} \approx 70 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 30 = 20 \text{ cm} \approx 50 \text{ cm}$$

Dirancang dimensi balok 50/70 cm

- **Balok Penggantung Lift**

Panjang balok penggantung lift = 180 cm

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times 180 \text{ cm} = 11,25 \text{ cm} \approx 50 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 11,25 = 7,5 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm}$$

Dirancang dimensi balok 30/50 cm

4.2.4.3 Pembebanan Lift

1. Beban yang bekerja pada balok penumpang

Beban yang bekerja merupakan beban akibat dari mesin penggerak lift + berat kereta luncur + perlengkapan, dan akibat bandul pemberat + perlengkapan.

2. Koefisien kejut beban hidup oleh keran

Pasal 3.3(3) PPIUG 1983 menyatakan bahwa beban keran yang membebani struktur pemikulnya terdiri dari berat sendiri keran ditambah muatan yang diangkatnya, dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau. Sebagai beban rencana harus diambil beban keran tersebut dengan mengalikannya dengan suatu koefisien kejut yang ditentukan dengan rumus berikut:

$$\Psi = (1 + k_1 k_2 v) \geq 1,15$$

Dimana:

Ψ = koefisien kejut yang nilainya tidak boleh diambil kurang dari 1,15.

v = kecepatan angkat maksimum dalam m/det pada pengangkatan muatan maksimum dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau, dan nilainya tidak perlu diambil lebih dari 1,00 m/s.

k_1 = koefisien yang bergantung pada kekakuan struktur keran induk, yang untuk keran induk dengan struktur rangka, pada umumnya nilainya dapat diambil sebesar 0,6

k_2 = koefisien yang bergantung pada sifat mesin angkat dari keran angkatnya, dan diambil sebesar 1,3

Jadi, beban yang bekerja pada balok adalah:

$$\begin{aligned} P &= \sum R \times \Psi = (3600 + 2000) \times (1 + 0,6 \times 1,3 \times 1) \\ &= 9968 \text{ kg} \end{aligned}$$

4.2.4.4 Balok Penggantung Lift 30/50

a. Pembebanan

Beban mati lantai:

$$\text{Berat pelat} = 0,14 \times 2360 = 330,4 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Aspal (t=2cm)} = 0,02 \times 1400 = 28 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Mechanical Ducting} &= 19 \text{ kg/m}^2 + \\ &= 377,4 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$Q = 377,4 \times 1,5 \text{ m} = 566,1 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Akibat balok} &= 0,3 \times 0,5 \times 2360 = 354 \text{ kg/m} + \\ Q_d &= 920 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban Hidup (q_1):

$$Q_1 = 100 \text{ kg/m}$$

Beban berfaktor

$$\begin{aligned} q_u &= 1,2 q_d + 1,6 q_L \\ &= 1,2 \times 920 + 1,6 \times 100 \\ &= 1264,12 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban terpusat lift $P = 9968 \text{ kg}$

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{1}{2} q_u L + \frac{1}{2} P \\ &= \frac{1}{2} \times 1264,12 \times 1,8 + \frac{1}{2} \times 9968 \\ &= 6121,708 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{1}{8} q_u L^2 + \frac{1}{4} PL \\ &= \frac{1}{8} \times 1264,12 \times 1,8^2 + \frac{1}{4} \times 9968 \times 1,8 \\ &= 4997,569 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Data Perencanaan:

f_c' = 35 Mpa
 f_y = 400 Mpa
 Tulangan utama = D19 mm
 Tulangan sengkang = Ø10 mm
 Selimut beton = 50 mm
 $b = 30$ cm
 $h = 50$ cm
 $d = 500 - 50 - 10 - \frac{1}{2} 19 = 430,5$ mm

- Menurut SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3 nilai β_1 ditentukan sebesar:

Tabel 4. 13 Tabel β_1

f'_c (Mpa)	28	35	42
	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
β_1	0,85	0,8	0,75

- Untuk mutu beton $f'_c = 35$ MPa berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3 harga dari β_1 adalah sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,8 + \frac{(30-28)}{(f'_c-28)} \times 0,05 \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,8 + \frac{(30-28)}{(35-28)} \times 0,05 \geq 0,65 = 0,81$$

Dengan demikian maka batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang diisyaratkan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,81 \times 35}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0363 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,0363 = 0,0273$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

b. Perhitungan Tulangan Lentur

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{49975686}{0,8 \times 300 \times 430,5^2} = 1,12$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 1,12}{400}} \right) = 0,0029 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,00350 > 0,0029 < 0,0273 \text{ (**Tidak Memenuhi**)}$$

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 10.5 (3) sebagai alternatif, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

Maka ρ diperbesar 30% $\times \rho = 1,3 \times 0,0029 = 0,0037$

dipakai $\rho = 0,0037$, sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0037 \times 300 \times 430,5 = 480,864 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah:

Jarak tulangan utama $\leq 3 \times$ tebal pelat, maka:

$$S \leq 3 \times 140 = 420 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_s \text{ D19}} \\ &= \frac{480,864}{283,385} = 1,70 \approx \text{dipakai 2 buah} \end{aligned}$$

Jarak tulangan, $S = 1000/2 = 500 \text{ mm} > S_{\text{maks}} = 420 \text{ mm}$

Maka diambil S pakai = 400 mm

Sehingga, A_s pakai = Jumlah tulangan per meter x A_{sD10}
 $= 2 \times 283,385$
 $= 566,77 \text{ mm}^2$
 $= 566,77 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 480,864 \text{ mm}^2$

- Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1

$$A_s \text{ min} = \frac{0,25 \sqrt{f'c'}}{f_y} b w d x = \frac{0,25 \sqrt{35}}{400} 300 \times 430,5 = 478 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min} = \frac{1,4}{f_y} b w d x = \frac{1,4}{400} 300 \times 430,5 = 452 \text{ mm}^2$$

A_s pakai = $566,77 \text{ mm}^2 > A_s \text{ min}$ (Memenuhi)

Maka digunakan tulangan lentur D19-400 mm

- Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d x} = \frac{n \times A_{sD10}}{b \times d x} = \frac{2 \times 283,385}{300 \times 430,5} = 0,00439 > \rho_{\text{perlu}} = 0,0029$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times b \times f'c'} = \frac{(n \times A_{sD10}) \times f_y}{0,85 \times b \times f'c'} = \frac{566,77 \times 400}{0,85 \times 300 \times 35} = 25,40 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \phi \times A_s \times f_y \left(d x - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 566,77 \times 400 \left(430,5 - \frac{25,40}{2} \right) \\ &= 7577,475 \text{ kgm} > M_u = 4997,57 \text{ kgm} \dots\dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

- Cek Penampang

$$\frac{a}{d x} = \frac{25,40}{430,5} = 0,059$$

$$\frac{c}{d x} = 0,375 \times \beta_1 = 0,375 \times 0,81 = 0,305$$

Maka, $a/dt < c/dt \dots\dots\dots \text{OK}$

Maka dipasang tulangan 2 D19 ($566,77 \text{ mm}^2$)

c. Perhitungan Tulangan Geser

$$V_u = 6121,708 \text{ kg} = 61217,08 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'c} \times b_w \times d$$

$$= \frac{1}{6} \times \sqrt{35} \times 300 \times 430,5$$

$$= 127343,617 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 127343,617$$

$$= 95507,713 \text{ N}$$

$$\phi V_{s \text{ min}} = 0,75 \times 1/3 \times 300 \times 430,5$$

$$= 32287,50 \text{ N}$$

$$\phi(V_c + V_{s \text{ min}}) = 127795,213 \text{ N}$$

$$\phi \left(V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f'c} \times b_w \times d \right)$$

$$= 0,75 \left(127343,617 + \frac{1}{3} \sqrt{35} \times 300 \times 430,5 \right)$$

$$= 286523,139$$

$$0,5\phi V_c = 0,5 \times 95507,713 = 47753,86 \text{ N}$$

$$V_c > V_u > 0,5\phi V_c$$

$$127343,617 \text{ N} > 61217,08 \text{ N} > 47753,86 \text{ N}$$

Karena $V_c > V_u > 0,5\phi V_c$ maka dibutuhkan tulangan geser minimum. Dipakai tulangan Ø10 mm dengan mutu baja BJTP-240 ($f_y = 240 \text{ MPa}$)

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ min} &= \frac{V_u}{\phi} \\
 &= \frac{61217,08}{0,75} \\
 &= 81622,77 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$A_v = 2 \times A_s$$

$$A_s \text{ } \varnothing 10 = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$A_v = 2 \times 78,54 = 157,080 \text{ mm}^2$$

Perhitungan jarak sengkang, dimana:

$$S_{\text{maks}} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{157,080 \times 240 \times 430,5}{81622,77} = 198,84 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.5.3.4 bahwa jarak maksimum antar sengkang yang tidak memerlukan sengkang tertutup tidak lebih $d/2$ sepanjang komponen struktur, maka:

$$s \leq d/2$$

$$\leq 430,5/2 = 215,25 \text{ mm}$$

Maka, dipakai sengkang di luar sendi plastis $\varnothing 10$ -150 mm.

Kontrol V_s

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = \frac{157,080 \times 240 \times 430,5}{150} = 108196,704 \text{ N} > V_u$$

Sehingga untuk perencanaan penulangan balok penggantung lift digunakan tulangan lentur dan tulangan geser dengan perincian sebagai berikut:

- Tulangan lentur 2D19
- Tulangan geser D10 – 150 mm

4.2.4.5 Balok Penumpu Depan dan Belakang Lift 50/70

a. Pembebanan

Beban mati lantai:

$$\text{Berat pelat} = 0,14 \times 2360 = 330,4 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Aspal (t=2cm)} = 0,02 \times 1400 = 28 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Mechanical Duckting} &= 19 \text{ kg/m}^2 + \\ &= 388,4 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$Q = 388,4 \times 1,8/2 \text{ m} = 349,56 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Akibat balok} &= 0,5 \times 0,7 \times 2360 = 826 \text{ kg/m} + \\ Q_d &= 1175,56 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban Hidup (q_1):

$$Q_1 = 100 \text{ kg/m}$$

Beban berfaktor

$$\begin{aligned} q_u &= 1,2 q_d + 1,6 q_L \\ &= 1,2 \times 1175,56 + 1,6 \times 100 \\ &= 1570,672 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban terpusat balok

$$\begin{aligned} P &= \sum R \times \Psi = (3600) \times (1 + 0,6 \times 1,3 \times 1) \\ &= 6408 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{1}{2} q_u L + \frac{1}{2} p \\ &= \frac{1}{2} \times 1570,672 \times 4,8 + \frac{1}{2} \times 6408 \\ &= 6973,613 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{1}{8} q_u L^2 + \frac{1}{4} pL \\ &= \frac{1}{8} \times 1570,672 \times 4,8^2 + \frac{1}{4} \times 6408 \times 4,8 \\ &= 12213,135 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Data Perencanaan:

$$f'_c = 35 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tulangan utama} = \text{D19 mm}$$

$$\text{Tulangan sengkang} = \text{D10 mm}$$

$$b = 50 \text{ cm}$$

$$h = 70 \text{ cm}$$

$$d = 700 - 50 - 10 - \frac{1}{2} 19 = 630,5 \text{ mm}$$

- Menurut SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3 nilai β_1 ditentukan sebesar:

Tabel 4. 14 Tabel β_1

f'_c (Mpa)	28	35	42
	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
β_1	0,85	0,8	0,75

- Untuk mutu beton $f'_c = 35 \text{ MPa}$ berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3 harga dari β_1 adalah sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,8 + \frac{(30-28)}{(f'_c-28)} \times 0,05 \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,8 + \frac{(30-28)}{(35-28)} \times 0,05 \geq 0,65 = 0,81$$

Dengan demikian maka batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang diisyaratkan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,81 \times 35}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0363 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,0363 = 0,0273$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

d. Perhitungan Tulangan Lentur

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{122131354}{0,8 \times 500 \times 630,5^2} = 0,77$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 0,77}{400}} \right) = 0,0019 \end{aligned}$$

Syarat: $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,00350 > 0,0019 < 0,0273 \text{ (**Tidak Memenuhi**)}$$

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 10.5 (3) sebagai alternatif, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

Maka ρ diperbesar 30% $\times \rho = 1,3 \times 0,0019 = 0,0025$

dipakai $\rho = 0,0025$, sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d_x \\ &= 0,0025 \times 500 \times 630,5 = 797,36 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah:

Jarak tulangan utama $\leq 3 \times$ tebal pelat, maka:

$$S \leq 3 \times 140 = 420 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_s \text{ D19}} \\ &= \frac{797,36}{283,385} = 2,81 \approx \text{dipakai 5 buah} \end{aligned}$$

Jarak tulangan, $S = 1000/5 = 200 \text{ mm} < S_{\max} = 420 \text{ mm}$

Maka diambil S pakai = 200 mm

Sehingga, As pakai = Jumlah tulangan per meter x AsD10
 $= 5 \times 283,385$
 $= 1416,93 \text{ mm}^2$
 $= 1416,93 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = 797,36 \text{ mm}^2$

- Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1

$$\text{As min} = \frac{0,25 \sqrt{f'c'}}{f_y} b w d x = \frac{0,25 \sqrt{35}}{400} 500 \times 630,5 = 1166 \text{ mm}^2$$

$$\text{As min} = \frac{1,4}{f_y} b w d x = \frac{1,4}{400} 500 \times 630,5 = 1103 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai} = 1416,93 \text{ mm}^2 > \text{As min (Memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan lentur D19-200 mm

- Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{\text{As}}{b \times d x} = \frac{n \times \text{AsD10}}{b \times d x} = \frac{5 \times 283,385}{500 \times 630,5} = 0,00449 > \rho_{\text{perlu}} = 0,0025$$

$$a = \frac{\text{As} \times f_y}{0,85 \times b \times f'c'} = \frac{(n \times \text{AsD10}) \times f_y}{0,85 \times b \times f'c'} = \frac{1416,93 \times 400}{0,85 \times 500 \times 35} = 38,10 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \phi \times \text{As} \times f_y \left(d x - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 1416,93 \times 400 \left(630,5 - \frac{38,10}{2} \right) \\ &= 27724,0718 \text{ kgm} > M_u = 12213,14 \text{ kgm} \dots\dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

- Cek Penampang

$$\frac{a}{d x} = \frac{38,10}{630,5} = 0,060$$

$$\frac{c}{d x} = 0,375 \times \beta_1 = 0,375 \times 0,81 = 0,305$$

Maka, $a/dt < c/dt \dots\dots\dots \text{OK}$

Maka dipasang tulangan 5 D19 (1416,93 mm²)

e. Perhitungan Tulangan Geser

$$V_u = 6973,613 \text{ kg} = 69736,128 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f'c} \times b_w \times d \\ &= \frac{1}{6} \times \sqrt{35} \times 500 \times 630,5 \\ &= 310840,692 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \times 310840,692 \\ &= 233130,519 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_{s \min} &= 0,75 \times 1/3 \times 500 \times 630,5 \\ &= 78812,5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi(V_c + V_{s \min}) = 311943,019 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} &\phi \left(V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f'c} \times b_w \times d \right) \\ &= 0,75 \left(310840,692 + \frac{1}{3} \sqrt{35} \times 500 \times 630,5 \right) \\ &= 699391,557 \end{aligned}$$

$$0,5\phi V_c = 0,5 \times 233130,519 = 116565,26 \text{ N}$$

$$V_u < 0,5\phi V_c$$

$$69736,128 \text{ N} < 116565,26 \text{ N}$$

Karena $V_u < 0,5\phi V_c$ kekuatan geser balok mencukupi, namun demikian dipasang tulangan geser minimum. Dipakai tulangan Ø10 mm dengan mutu baja BJTP-240 ($f_y = 240 \text{ MPa}$)

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ min} &= \frac{V_u}{\phi} \\
 &= \frac{69736,128}{0,75} \\
 &= 92981,50 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$A_v = 2 \times A_s$$

$$A_s \text{ } \varnothing 13 = 78,540 \text{ mm}^2$$

$$A_v = 2 \times 78,540 = 157,080 \text{ mm}^2$$

Perhitungan jarak sengkang, dimana:

$$S_{\text{maks}} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{157,080 \times 240 \times 630,5}{92981,50} = 255,64 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.5.3.4 bahwa jarak maksimum antar sengkang yang tidak memerlukan sengkang tertutup tidak lebih $d/2$ sepanjang komponen struktur, maka:

$$s \leq d/2$$

$$\leq 630,5/2 = 315,25 \text{ mm}$$

Maka, dipakai sengkang di luar sendi plastis $\varnothing 10$ -250 mm.

Kontrol V_s

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = \frac{157,080 \times 240 \times 630,5}{250} = 95077,382 \text{ N} > V_u$$

Sehingga untuk perencanaan penulangan balok pnuumpu lift digunakan tulangan lentur dan tulangan geser dengan perincian sebagai berikut:

- Tulangan lentur 5D19
- Tulangan geser D10 – 250 mm

4.3 Pemodelan Struktur

4.3.1 Umum

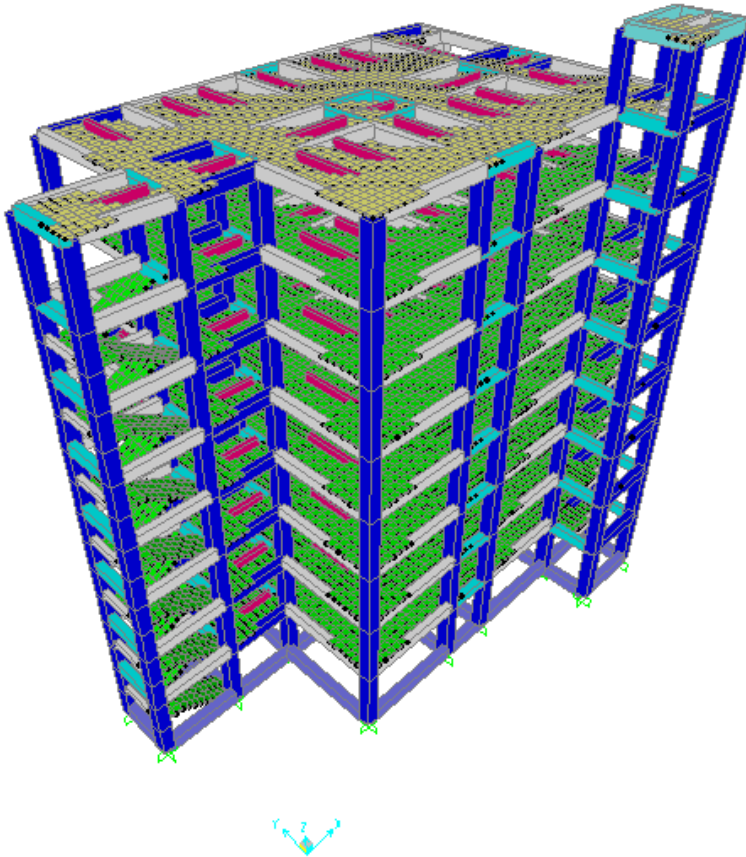
Dalam perencanaan gedung bertingkat perlu dilakukan adanya perencanaan pembebanan gravitasi maupun pembebanan gempa. Hal ini bertujuan agar struktur gedung tersebut mampu untuk memikul beban yang terjadi. Pembebanan gravitasi mengacu pada ketentuan SNI 03-2847-2013 dan pembebanan gempa mengacu pada SNI 03-1726-2012 yang di dalamnya terdapat ketentuan dan persyaratan perhitungan beban gempa.

4.3.2 Data-Data Perencanaan

Data-data perancangan gedung G Univesitas Muhammadiyah Surabaya adalah sebagai berikut:

Mutu beton (f_c')	: 35 Mpa
Mutu baja tulangan (f_y)	: 400 Mpa
Fungsi bangunan	: Fasilitas Pendidikan
Jumlah tingkat	: 9 Lantai
Tinggi tiap tingkat	: 4,200 meter
Tinggi bangunan	: + 33,60 meter
Dimensi balok induk	: 50/70 cm ²
Dimensi balok anak	: 30/50 cm ²
Dimensi kolom	: 80/80 cm ²
Zona gempa	: Tinggi

Model *undeformed shape* struktur bangunan dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini yang merupakan permodelan yang dilakukan pada program bantu SAP 2000 v.14.



Gambar 4. 27 Permodelan 3D Struktur Utama

Untuk permodelan gedung pada arah Barat-Timur yang searah dengan sumbu X dan arah Utara-Selatan yang searah sumbu Y menggunakan sistem penahan gaya seismik rangka beton bertulang khusus atau SRPMK.

4.3.3 Pembebanan

Pembebanan gravitasi struktur pada Sistem Rangka Pemikul Momen hanya diterima oleh rangka. Pembebanan ini termasuk beban mati dan beban hidup yang terjadi pada struktur.

- **Pembebanan gravitasi pada lantai 2-8**

Beban Mati (DL)

Plafond	= 5	= 5 kg/m ²
Penggantung	= 10	= 10 kg/m ²
Keramik + Spesi (2,5 cm)	= 2,5 x 44	= 110 kg/m ²
Sanitasi	= 20	= 20 kg/m ²
Mechanical duckting	= 19	= 19 kg/m ² +
		DL = 164 kg/m ²

- **Pembebanan Pada Atap**

Beban Mati (DL)

Plafond	= 5	= 5 kg/m ²
Penggantung	= 10	= 10 kg/m ²
Spesi (2,5 cm)	= 2,5 x 44	= 110 kg/m ²
Aspal (1 cm)	= 14	= 14 kg/m ²
Mechanical duckting	= 19	= 19 kg/m ² +
		DL = 158 kg/m ²

- **Beban Hidup (LL)**

Bedasarkan RSNI 03-1727-2013 Pasal 4.7.3 koefisien reduksi untuk beban hidup struktur yang menumpu dua lantai atau lebih sebesar 20%. Jadi total beban hidup:

Beban hidup lantai = $0,8 \times 192 = 153,6 \text{ kg/m}^2$.

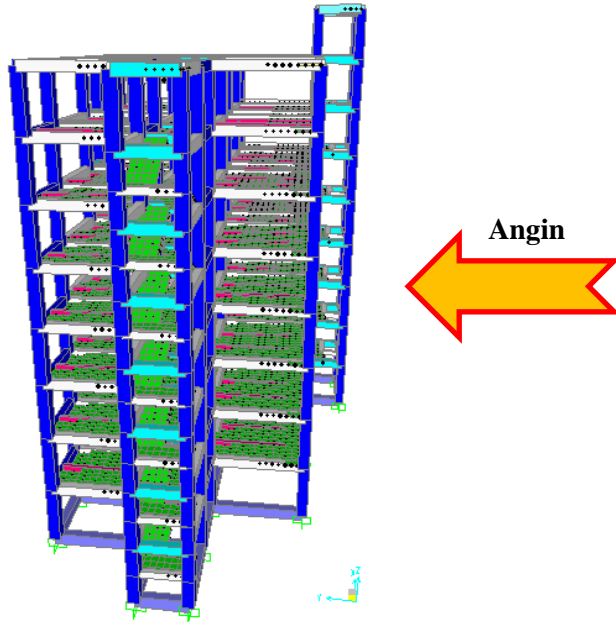
Beban hidup atap datar = 96 kg/m^2 .

Perhitungan nilai total berat bangunan ini akan digunakan untuk menentukan gaya geser statik. Nilai tersebut digunakan untuk mengecek apakah perhitungan struktur gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya yang menggunakan pembebanan gempa dinamik gaya geser nya sudah mencapai 80% gaya geser statik.

Pada proyek akhir terapan ini perhitungan berat struktur diambil dari hasil analisis menggunakan program SAP 2000 untuk kombinasi $1,0 D + 1 LL$.

- **Beban Angin (W)**

Pada pembebanan angin diambil salah satu contoh kasus dimana angin berhembus ke salah satu gedung, seperti pada gambar berikut:



Gambar 4. 28 Ilustrasi Arah Beban Angin

Pembebanan angin pada gedung menggunakan SNI 1727-2013 pasal 27 bagian 1, dimana langkah-langkah perencanaan disesuaikan berdasarkan SNI 1727-2013 tabel 27.2-1 seperti berikut:

1. Menentukan kategori resiko bangunan gedung atau struktur lain berdasarkan tabel 1 SNI 1726-2012. Berdasarkan catatan dari tabel tersebut, dimana bangunan adalah gedung perkuliahan (fasilitas pendidikan) dan dikategorikan sebagai kategori risiko IV.

2. Menentukan kecepatan angin dasar Surabaya (Kota Surabaya)



Gambar 4. 29 Data Kecepatan Angin Wilayah Kota Surabaya
(Sumber: www.bmkg.go.id)

Kecepatan angin dasar V , yang digunakan dalam menentukan beban angin desain di bangunan gedung dan struktur lain harus ditentukan dari instansi yang berwenang, sesuai dengan kategori risiko bangunan gedung dan struktur.

Berdasarkan data dari www.bmkg.go.id yang diambil pada tanggal 20 April 2018, kecepatan angin yang terjadi di Kota Surabaya adalah 9 km/jam pada pagi hari, 28 km/jam pada siang hari, 19 km/jam pada malam hari, dan 4 km/jam pada dini hari. Maka untuk perencanaan, digunakan kecepatan angin saat kondisi ekstrim yaitu 28 km/jam.

$$V = 28 \text{ km/jam} = 7,778 \text{ m/s}$$

3. Menentukan parameter beban angin

a. Faktor arah beban angin (K_d)

Berdasarkan SNI 1727-2013 pasal 26.6 faktor arah angin ditentukan dari tabel 26.6-1 SNI 1727-2013.

Tabel 4. 15 Faktor Arah Angin, K_d

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin K_d^*
Bangunan Gedung	
Sistem Penahan Beban Angin Utama	0,85
Komponen dan Klading Bangunan Gedung	0,85
Atap Lengkung	0,85
Cerobong asap, Tangki, dan Struktur yang sama	
Segi empat	0,90
Segi enam	0,95
Bundar	0,95
Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebas dan papan reklame terikat	0,85
papan reklame terbuka dan kerangka kisi	0,85
Rangka batang menara	
Segi tiga, segi empat, persegi panjang	0,85
Penampang lainnya	0,95

Nilai faktor arah angin (K_d) yang diambil adalah 0,85.

b. Kategori eksposur

Untuk setiap arah angin yang diperhitungkan, eksposur lawan angin didasarkan pada kekasaran tanah yang ditentukan dari topografi alam, vegetasi, dan fasilitas yang dibangun. Berdasarkan SNI 1727-2013 pasal 26.7, gedung direncanakan untuk kategori eksposur B karena berada pada daerah perkotaan dan untuk bangunan dengan tinggi atap lebih dari 9,1 m.

c. Faktor topografi (K_{zt})

Faktor topografi diperlukan untuk menghitung peningkatan kecepatan angin pada bukit, bukit memanjang dan tebing yang curam, dimana nilai dari topografi:

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2$$

Dimana:

K_1 = Faktor untuk memperhitungkan bentuk fitur topografis dan pengaruh peningkatan kecepatan maksimum

K_2 = Faktor untuk memperhitungkan reduksi dalam peningkatan kecepatan sehubungan dengan jarak ke sisi angin datang atau sisi angin pergi dari puncak

K_3 = Faktor untuk memperhitungkan reduksi dalam peningkatan kecepatan sehubungan dengan ketinggian di atas elevasi kawasan setempat

Gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya ini tidak di desain di bukit ataupun ditebing, oleh karena itu berdasarkan SNI 1727-2013 pasal 26.8.2 Nilai K_{zt} diambil = 1.

d. Faktor efek tiupan angin, (G)

Faktor efek tiupan angin diambil dengan memperhitungkan frekuensi alami dari gedung yang ditinjau untuk mengklasifikasi apakah gedung tersebut kaku atau fleksibel. Berdasarkan SNI 1727-2013 pasal 26.2 gedung dianggap kaku bila frekuensinya lebih dari 1 Hz. Untuk itu perhitungan faktor efek tiupan angin mengikuti SNI 1727-2013 pasal 26.9 dimana faktor efek-tiupan angin untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku boleh diambil sebesar 0,85.

e. Klasifikasi ketertutupan

Berdasarkan SNI 1727-2013 pasal 26.10, bangunan gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya diklasifikasikan sebagai bangunan tertutup.

f. Koefisien tekanan internal (GC_{pi})

Koefisien tekanan internal harus ditentukan berdasarkan SNI 1727-2013 tabel 26.11-1 seperti berikut:

Tabel 4. 16 Koefisien Tekanan Internal

Klasifikasi Ketertutupan	(GC_{pi})
Bangunan gedung terbuka	0,00
Bangunan gedung tertutup sebagian	+ 0,55 - 0,55
Bangunan gedung tertutup	+ 0,18 - 0,18

Dari tabel diatas didapatkan untuk bangunan tertutup adalah 0,18 dimana tanda negatif dan positif menandakan tekanan yang bekerja menuju dan menjauhi dari permukaan internal.

4. Menentukan koefisien eksposur tekanan velositas, K_z atau K_h
Berdasarkan SNI 1727-2013 pasal 27.3, nilai koefisien eksposur tekanan velositas adalah:

$$K_z = 2,01 (z/z_g)^{2/\alpha}$$

Dimana nilai $z_g = 365,76$ m dan $\alpha = 7$ yang diambil berdasarkan SNI 1727-2013 tabel 26.9-1

$$K_z = 2,01 (z/z_g)^{2/\alpha} = 2,01 (33,6/365,76)^{2/7} \\ = 1,0161$$

5. Menentukan tekanan velositas (q atau q_h)

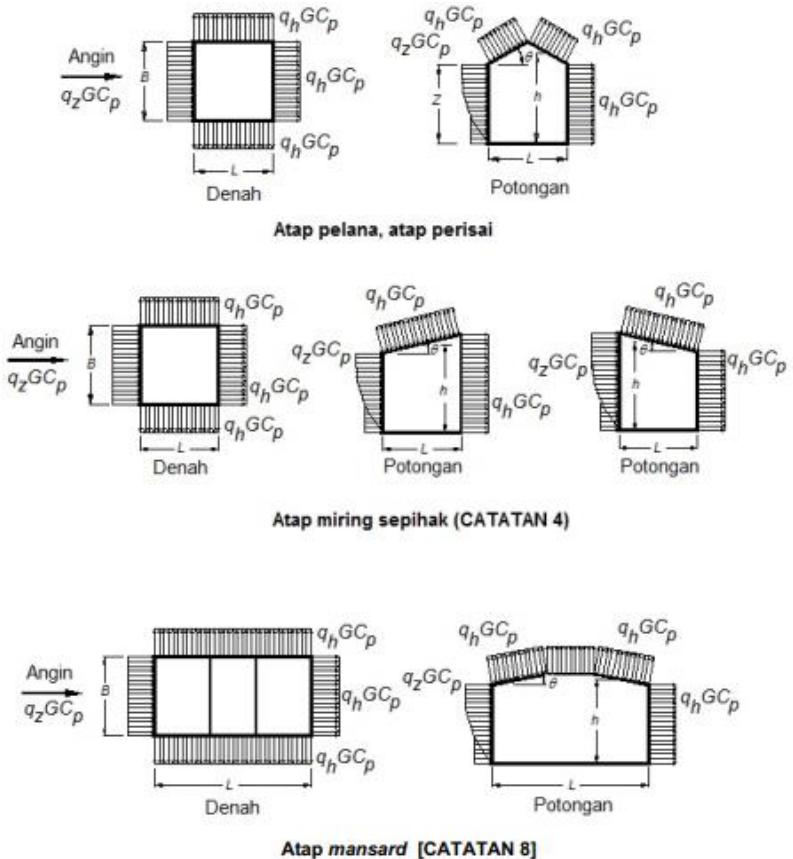
Nilai tekanan velositas berdasarkan SNI 1727-2013 pasal 27.3.2 adalah:

$$q_h = q_z = 0,613 K_z K_{zt} K_d V^2 \\ = 0,613 \times 1,0161 \times 1 \times 0,85 \times 7,778^2 \\ = 32,029 \text{ N/m}^2 \\ q = 32,029 \text{ N/m}^2$$

6. Menentukan koefisien tekanan eksternal (C_p)

Karena gedung diklasifikasikan sebagai gedung tertutup dan atap berbentuk perisai. Maka nilai koefisien tekanan eksternal

diambil berdasarkan SNI 1727-2013 Gambar 27.4-1 dan tabel berikut:



Gambar 4. 30 Koefisien Tekanan Eksternal

Tabel 4. 17 Nilai Koefisien Tekanan Eksternal

Koefisien tekanan dinding, C_p			
Permukaan	L/B	C_p	Digunakan dengan
Dinding di sisi angin datang	Seluruh nilai	0,8	q_z
Dinding di sisi angin pergi	0 – 1	- 0,5	q_h
	2	- 0,3	
	≥ 4	- 0,2	
Dinding tepi	Seluruh nilai	- 0,7	q_h

$$B = 32,725 \text{ m}$$

$$L = 21,6 \text{ m}$$

$$\text{Nilai } L/B = 0,69 \text{ (kategori 0-1)}$$

Maka untuk dinding sisi angin datang, nilai C_p diambil 0,8

Dinding sisi angin pergi, nilai $C_p = -0,5$

Dinding tepi, nilai $C_p = -0,7$

7. Tekanan angin (p) pada permukaan gedung

Berdasarkan SNI 1727-2013 pasal 26.2 gedung dianggap kaku bila frekuensinya lebih dari 1 Hz. Berdasarkan SNI 1727-2013 pasal 26.9.3 mengenai frekuensi alami perkiraan untuk beton bangunan rangka-penahan-momen menggunakan rumus:

$$n_a = 43,5 / h^{0,9}$$

$$n_a = 43,5 / 33,6^{0,9}$$

$$n_a = 1,8 \text{ Hz} > 1 \text{ Hz (OK)}$$

Untuk itu tekanan angin dihitung berdasarkan SNI 1727-2013 pasal 27.4.1 yaitu:

$$p = qGC_p - q_i(GC_{pi})$$

Pada dinding, diambil satu kasus dimana angin mendekati dinding (sisi angin datang) dengan nilai $C_p = 0,8$ dan nilai $GC_{pi} = -0,18$

$$P = 32,029 \times 0,85 \times 0,8 - 0 \times (-0,18)$$

$$P = 21,77963 \text{ N/m}^2$$

$$P = 2,178 \text{ kg/m}^2$$

4.3.4 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan diperlukan dalam sebuah perencanaan struktur bangunan. Pada saat konstruksi, tentunya beban-beban yang bekerja pada struktur hanyalah beban-beban mati saja dan beban hidup sementara akibat dari pekerja bangunan. Sedangkan pada masa layan, beban-beban hidup permanen dari aktifitas pemakai gedung dan barang-barang inventaris yang dapat bergerak di dalam gedung. Hal ini tentunya akan berdampak pada kekuatan rencana elemen struktur yang direncanakan berdasarkan kombinasi pembebanan terbesar akibat penjumlahan beban-beban yang bekerja dengan faktor beban LRFD (*Load Resistance Factor Design*).

Menurut SNI 1726-2012: Pasal 4.2.2 struktur harus dirancang sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi beban sebagai berikut:

- 1) $U = 1,4 D$
- 2) $U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
- 3) $U = 1,2 D + 1,6 L (L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$
- 4) $U = 1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
- 5) $U = 1,2 D + 1,0 E + L$
- 6) $U = 0,9 D + 1,0 W$
- 7) $U = 0,9 D + 1,0 E$

Menurut SNI 1726-2012: Pasal 8.3.1.3 pengaruh gempa pada kombinasi dasar untuk desain kekuatan:

- 5) $U = (0,9 - 0,2 Sds) D + 1,3 E$
- 6) $U = (1,2 + 0,2 Sds) D + 1,0 E + 1,0 L + 0,2 L_r$

Dimana, $0,2 \times Sds = 0,2 \times (0,607) = 0,1214$, maka:

- 5) $U = 0,78 D + 1,0 E$
- 6) $U = 1,32 D + 1,3 E + 1,0 L + 0,2 L_r$

Menurut SNI 1726-2012: Pasal 7.4.2.1 pengaruh gempa horizontal harus ditentukan sebagai berikut:

$$E = \rho \times QE$$

Dimana:

ρ = faktor redudansi = 1,3 (Ps 7.3.4.2)

E = 1,3 x 1 E = 1,3

Sds = 0,607

Sehingga kombinasi pembebanan yang digunakan pada analisis program SAP 2000 adalah sebagai berikut:

- 1) $U = 1,4 D$
- 2) $U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 Lr$
- 3) $U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 R$
- 4) $U = 1,2 D + 1,6 Lr + 1,0 L$
- 5) $U = 1,2 D + 1,6 R + 1,0 L$
- 6) $U = 1,2 D + 1,6 Lr + 0,5 W_x$
- 7) $U = 1,2 D + 1,6 Lr + 0,5 W_y$
- 8) $U = 1,2 D + 1,6 R + 0,5 W_x$
- 9) $U = 1,2 D + 1,6 R + 0,5 W_y$
- 10) $U = 1,2 D + 1,0 W_x + 1,0 L + 0,5 Lr$
- 11) $U = 1,2 D + 1,0 W_y + 1,0 L + 0,5 Lr$
- 12) $U = 1,2 D + 1,0 W_x + 1,0 L + 0,5 R$
- 13) $U = 1,2 D + 1,0 W_y + 1,0 L + 0,5 R$
- 14) $U = 0,9 D + 1,0 W_x$
- 15) $U = 0,9 D + 1,0 W_y$
- 16) $U = 0,78 D + 1,3 E_x + 0,39 E_y$
- 17) $U = 0,78 D + 0,39 E_x + 1,3 E_y$
- 18) $U = 1,32 D + 1,3 E_x + 0,39 E_y + 1,0 L$
- 19) $U = 1,32 D + 0,39 E_x + 1,3 E_y + 1,0 L$
- 20) $U = 1,0 D + 1,0 L$

Dimana:

U = beban ultimate

D = beban mati

L = beban hidup

E = beban gempa

W = beban angin

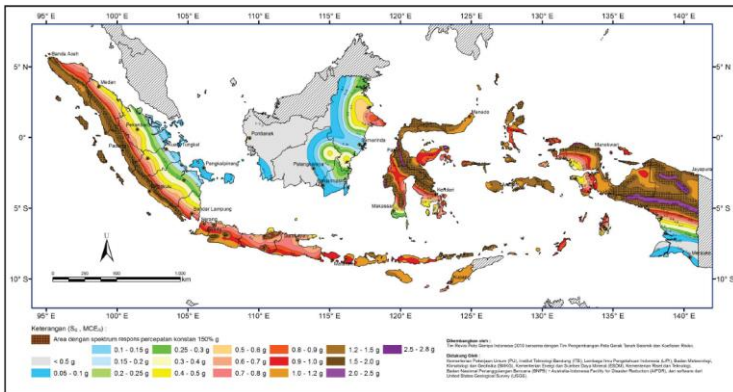
Lr = beban hidup atap

R = beban hujan

4.3.5 Analisa Beban Gempa

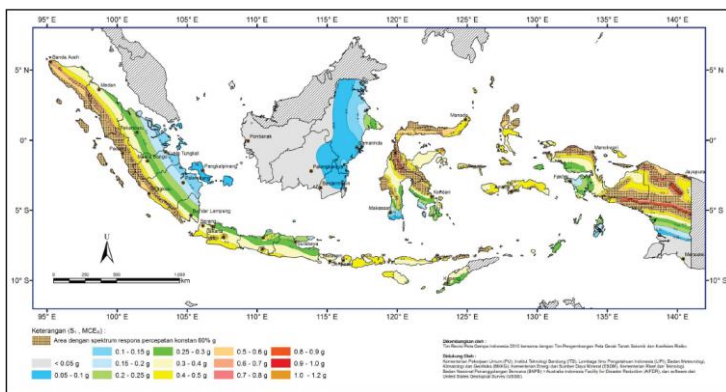
4.3.5.1 Percepatan Respon Spektrum (MCE)

Penentuan wilayah gempa dapat dilihat pada Gambar 4.31 dan Gambar 4.32



Gambar 4. 31 Peta untuk Menentukan Harga S_s

Gempa Maksimum yang dipertimbangkan resiko tersesuaian (MCER) parameter gerak tanah, untuk percepatan respons spektral 0,2 detik dalam g (5% redaman kritis), kelas situs SE. Dari gambar 4.31 untuk daerah Surabaya didapatkan nilai S_s = 0,663 g.



Gambar 4. 32 Peta untuk Menentukan Harga S₁

Gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tersesuaikan (MCE_R) parameter gerak tanah, untuk percepatan respons spektral 1 detik dalam g (5% redaman kritis), kelas situs SE. Dari gambar 4.32 untuk wilayah Surabaya $S_1 = 0,247$ g.

Untuk nilai F_a (koefisien situs untuk periode 0,2 detik) dan F_v (koefisien situs untuk periode 1 detik) yang didapat dari Tabel 4.16 dan Tabel 4.17.

Tabel 4. 18 Koefisien Situs F_a

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa MCE_R Terpetakan Pada Periode Pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1	1	1	1	1
SC	1,2	1,2	1,1	1	1
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS^b				

Tabel 4. 19 Koefisien Situs F_v

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa MCE_R Terpetakan Pada Periode 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1	1	1	1	1
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS^b				

Dari data diatas diperoleh data-data sebagai berikut :

$$S_s = 0,663$$

$$S_1 = 0,247$$

$$F_a = 1,374 \text{ (Dengan cara interpolasi)}$$

$$F_v = 3,012 \text{ (Dengan cara interpolasi)}$$

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (\text{SNI 03-1726-2012 Pers. 6.2-1})$$

$$= 1,374 \times 0,663$$

$$= 0,91$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (\text{SNI 03-1726-2012 Pers. 6.2-2})$$

$$= 3,012 \times 0,247$$

$$= 0,74$$

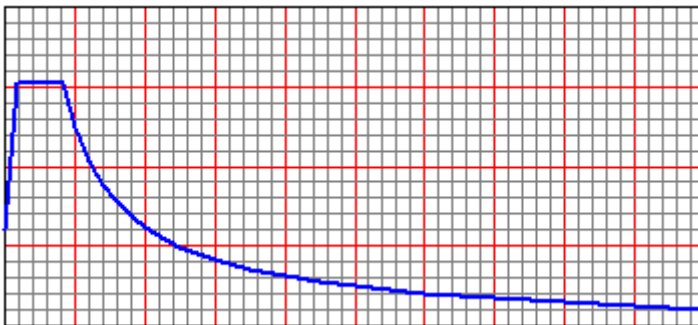
4.3.5.2 Parameter Percepatan Respons Spektral

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0,91 = 0,607$$

(SNI 03-1726-2012 Pers. 6.2-3)

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,74 = 0,496$$

(SNI 03-1726-2012 Pers. 6.2-4)



Gambar 4. 33 Grafik Respon Spectrum Daerah Surabaya

Bangunan ini direncanakan akan dibangun di daerah kota Surabaya yang mempunyai parameter kecepatan respon spektral pada perioda 1 detik, redaman 5 persen sebesar $S_{DS} = 0,607$ dan

parameter percepatan respon spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh situs $S_{D1} = 0,496$. Berdasarkan tabel 4.18 dan tabel 4.19 maka didapat kategori kota Surabaya mempunyai kategori resiko D.

Tabel 4. 20 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 4. 21 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sistem yang dipilih harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian. Berdasarkan tabel 9 SNI 1726 2012 didapatkan bahwa kriteria desain yang tepat sesuai dengan kategori desain seismik yang ada adalah sebagai sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK).

4.3.6 Pembebanan Gempa Dinamis

Perhitungan beban gempa pada struktur gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya ditinjau dengan pengaruh gempa dinamik sesuai SNI 03-1726-2012. Analisisnya dilakukan

berdasarkan analisis respon dinamik dengan parameter-parameter yang sudah ditentukan.

4.3.6.1 Arah pembebanan

Beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan terjadi dalam arah sembarang (tidak terduga) baik dalam arah x dan y secara bolak-balik dan periodikal. Untuk mensimulasikan arah pengaruh gempa rencana yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa rencana dalam arah utama harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa yang arahnya tegak lurus dengan arah utama dengan efektifitas 30%.

- Gempa Respon Spektrum X :
100% efektivitas untuk arah X dan 30% efektivitas arah Y
- Gempa Respon Spektrum Y :
100% efektivitas untuk arah Y dan 30% efektifitas arah X

4.3.6.2 Faktor Reduksi Gempa (R)

Gedung ini direncanakan dengan sistem rangka beton pracetak pemikul momen khusus. Berdasarkan tabel 9 SNI 03-1726-2012 didapatkan nilai faktor pembesaran defleksi (C_d) = 5,5 nilai koefisien modifikasi respon (R) = 8 dan nilai faktor kuat lebih sistem (Ω) = 3

4.3.6.3 Faktor Keutamaan (I)

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e . Gedung ini direncanakan sebagai gedung sekolah dan fasilitas pendidikan. Pada tabel 2 SNI 03-1726-2012 bangunan ini termasuk kategori IV sehingga didapat nilai $I = 1,50$

4.3.6.4 Pendefinisian Modal Analisis dan Ragam Analisis

Analisis modal menggunakan SAP 2000 diambil sebanyak jumlah lantai yang dimodelkan, *Mode Shape* untuk menjamin

partisipasi massa struktur lebih dari 90%. Dalam hal ini partisipasi massa dari struktur diambil 99% terhadap gaya lateral kearah X dan kearah Y. Input form untuk analisa modal dapat dilihat pada Gambar 4.34.

Load Type	Load Name	Target Mass Participation Ratios (%)	Static Correction
Load Pattern	ANGIN	99.	No
Accel	UX	99.	No
Accel	UY	99.	No

Buttons: Add, Modify, Delete

Gambar 4. 34 Input Analisa Modal di SAP 2000 v.14

4.3.6.5 Faktor Skala Gaya Beban Gempa dengan Respon Spektrum untuk SAP 2000 untuk SRPMK

Faktor skala gaya gempa diambil dari persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor Pembebanan} &= \frac{I_e}{R} \cdot g \\
 &= \frac{1,5}{8} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 1,8394
 \end{aligned}$$

Faktor beban tersebut adalah untuk arah gempa yang ditinjau sedangkan untuk arah yang tegak lurus dari peninjauan gempa tersebut akan terkena gempa sebesar 30% dari arah gempa yang ditinjau sehingga faktor skala gaya pada arah tegak lurus yang ditinjau adalah:

$$30\% \times 1,8394 = 0,5518$$

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	SURABAYA	1.8394
Accel	U1	SURABAYA	1.8394
Accel	U2	SURABAYA	0.5518

☐ Show Advanced Load Parameters

Add
Modify
Delete

Gambar 4. 35 Input Faktor Skala Gaya pada Arah X

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	SURABAYA	0.5518
Accel	U1	SURABAYA	0.5518
Accel	U2	SURABAYA	1.8394

☐ Show Advanced Load Parameters

Add
Modify
Delete

Gambar 4. 36 Input Faktor Skala Gaya pada Arah Y

4.3.7 Kontrol Desain

Setelah dilakukan pemodelan struktur 3 dimensi dengan program bantu SAP 2000, hasil analisis struktur harus dikontrol terhadap suatu batasan-batasan tertentu sesuai dengan peraturan SNI 03-1726-2012 untuk menentukan kelayakan sistem struktur tersebut. Adapun hal-hal yang harus dikontrol adalah sebagai berikut:

- Kontrol beban gravitasi
- Kontrol pengecekan gaya
- Kontrol partisipasi massa.
- Kontrol periode getar struktur.
- Kontrol gaya geser dasar dan nilai akhir respon spektrum.
- Kontrol batas simpangan (*drift*)

Dari analisis tersebut juga diambil gaya dalam yang terjadi pada masing-masing elemen struktur untuk dilakukan pengecekan kapasitas penampang.

4.3.7.1 Kontrol Beban Gravitasi

Beban gravitasi dikontrol untuk mengecek kesesuaian permodelan pada program bantu SAP 2000 v14 dengan desain bangunan gedung. Dari analisa yang telah dilakukan berikut adalah rekap pembebanan Gravitasi pada gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya:

Tabel 4. 22 Tabel Rekapitulasi Pembebanan Gravitasi Manual

Rekapitulasi Pembebanan		
Lantai	Beban Mati	Beban Hidup
	kg	kg
LT Dasar	624496.032	69493.248
LT 1 - 7	747467.952	69493.248
LT Atap	614795.826	36168.192
LT R. Lift	106064.808	36168.192
Total (kg)	7205914.698	

Dari perhitungan secara manual didapatkan beban total (1D +1L) adalah 6014304.84 kg. Pembebanan yang diinputkan pada SAP 2000 v14 haruslah mendekati yang telah di hitung secara manual sehingga pembebanan pada SAP 2000 v14 dapat dikatakan benar. Berikut adalah pembebanan gravitasi yang didapatkan dari SAP 2000 v14.

Tabel 4. 23 Pembebanan Gravitasi pada SAP 2000 v14

OutputCase	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Kgf	Kgf	Kgf
1.0DL+1.0LL	1.137E-06	-9.819E-07	6951515.82

Jadi total beban gravitasi pada SAP 2000 v14 dengan kombinasi (1.0DL+1.0LL) sebesar 6951515.82 kg. Sehingga didapatkan data sebagai berikut:

$$W_{\text{total SAP 2000 v14}} = 6951515.82 \text{ kg}$$

$$W_{\text{total Manual}} = 7205914.698 \text{ kg}$$

$$\text{Selisih} = \frac{(7205914.698 \text{ kg} - 6951515.82)}{7205914.698} \times 100\% = \mathbf{3,41\%}$$

Selisih perhitungan manual dengan SAP 2000 v14:

$$= \mathbf{3,41\% < 10\%}$$

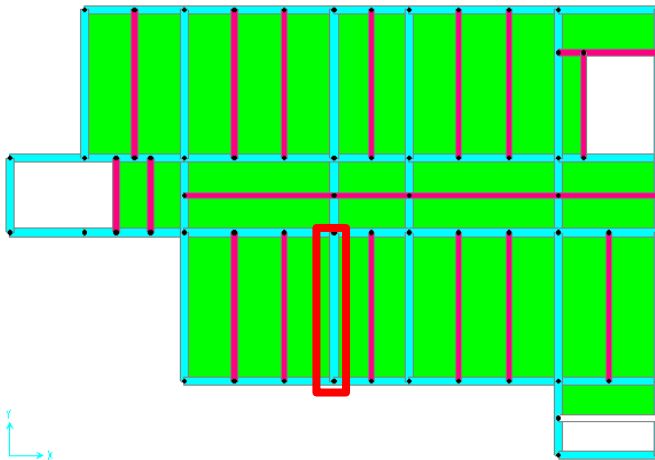
Karena nilai momen yang dihitung menggunakan SAP 2000 v.14 dan momen yang dihitung manual relatif sama, maka dianggap permodelan sudah mendekati keadaan sebenarnya.

4.3.7.2 Kontrol Pengecekan Gaya

Pengecekan gaya yang terjadi pada program bantu SAP 2000 v.14 diperlukan untuk memastikan permodelan yang ada sudah baik dan benar. Pengecekan dilakukan dengan membandingkan gaya yang terjadi pada program bantu SAP 2000 v.14 dengan gaya yang terjadi dengan dihitung manual.

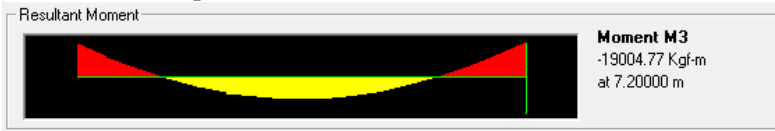
1. Pengecekan Gaya Pada Balok

Pengecekan momen yang terjadi pada balok, dilakukan dengan mengecek pada balok lantai 2 sebagai berikut:

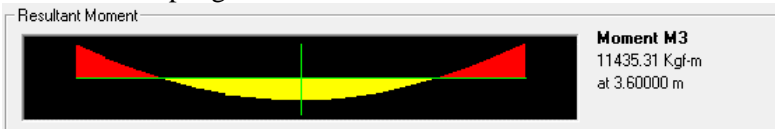


Untuk gaya yang terjadi pada program bantu SAP 2000 v.14 pada balok yang ditinjau (frame 24) dengan momen yang terjadi (kombinasi 1,2D + 1,6L) adalah sebagai berikut:

➤ Momen Tumpuan (Max):



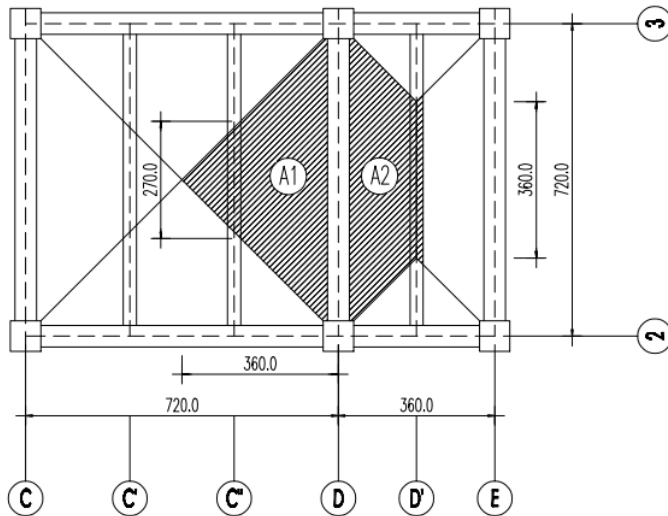
➤ Momen Lapangan:



Momen Tumpuan = 19004,77 kgm

Momen Lapangan = 11435,31 kgm

Untuk gaya yang terjadi dengan menggunakan perhitungan manual (*Tributary Area*) adalah sebagai berikut:



$$A1 = \frac{7,2 \times 3,6}{2} = 12,96 \text{ m}^2$$

$$A2 = \frac{(7,2 + 3,6) \times 1,8}{2} = 9,72 \text{ m}^2$$

$$A \text{ total} = A1 + A2 = 22,68 \text{ m}^2$$

Bentang balok (ln) = 7,2 m

a) **Beban mati** tidak terfaktor (per satuan panjang):

- Berat sendiri balok = $(0,5 \times 0,56) \text{ m}^2 \times 2360 \text{ kg/m}^3$
= 660,8 kg/m
- Berat sendiri pelat = $0,14 \text{ m} \times 2360 \text{ kg/m}^3$
= 330,4 kg/m²
- Dinding bata ringan CITICON® = 378 kg/m
- Plafond = 5 kg/m²
- Penggantung = 10 kg/m²
- Keramik + Spesi = 110 kg/m²
- Sanitasi = 20 kg/m²
- *Mechanical Ducting* = 19 kg/m²

Beban mati tambahan total:

$$(330,4+5+10+110+20+19) \text{ kg/m}^2 = 494,4 \text{ kg/m}^2$$

Maka beban mati total per satuan panjang adalah:

$$D = \left(\frac{494,4 \text{ kg/m}^2 \times 22,68}{7,2 \text{ m}} \right) + 660,8 \text{ kg/m} + 378 \text{ kg/m}$$

$$D = 2596,16 \text{ kg/m}$$

b) **Beban hidup** tidak terfaktor (per satuan panjang):

$$\text{Beban hidup untuk lantai 2} = 192 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Reduksi} = 0,8 \times 192 \text{ kg/m}^2 = 153,6 \text{ kg/m}^2$$

$$L = \left(\frac{153,6 \text{ kg/m}^2 \times 22,68}{7,2 \text{ m}} \right) = 483,84 \text{ kg/m}$$

c) Kombinasi beban akibat gaya gravitasi:

$$q_u = 1,4D$$

$$= 1,4 \times 2596,16 \text{ kg/m}$$

$$= 3634,624 \text{ kg/m}$$

$$q_u = 1,2D + 1,6L$$

$$= 1,2 (2596,16 \text{ kg/m}) + 1,6 (483,84 \text{ kg/m})$$

$$= 3889,54 \text{ kg/m}$$

$$\text{Diambil yang terbesar, } q_u = 3889,54 \text{ kg/m}$$

Untuk berat sendiri balok anak:

$$= (2,7 \text{ m} + 3,6 \text{ m}) \times 0,3 \text{ m} \times 0,36 \text{ m} \times 2360 \text{ kg/m}^3$$

$$= 1605,74 \text{ kg}$$

Untuk menghitung momen yang terjadi pada balok, digunakan metode analisis berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 8.3.3, dimana:

➤ Momen negatif di muka perletakan interior:

$$M^- = \frac{q_u \times l_n^2}{11} + \frac{P}{L}$$

$$M^- = \frac{3889,54 \times (7,2 \text{ m})^2}{11} + \frac{1605,74}{7,2 \text{ m}}$$

$$M^- = 18553,342 \text{ kgm}$$

$$\text{Selisih} = \frac{19004,77 - 18553,342}{19004,77} \times 100\% = 2,35\% \leq 10\%$$

➤ Momen positif di tengah bentang:

$$M^+ = \frac{qu \times l n^2}{16}$$

$$M^+ = \frac{3889,54 \times (7,2 \text{ m})^2}{16}$$

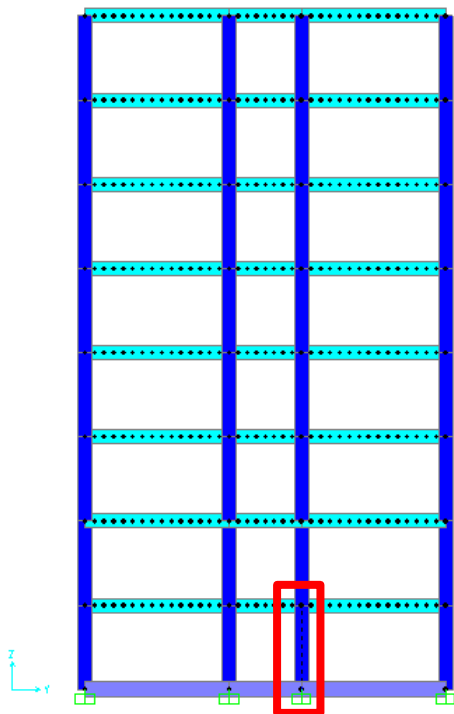
$$M^+ = 12602,097 \text{ kgm}$$

$$\text{Selisih} = \frac{12602,097 - 11435,31}{11435,31} \times 100\% = 10\% \leq 10\%$$

Karena nilai momen yang dihitung menggunakan SAP 2000 v.14 dan momen yang dihitung manual relatif sama, maka dianggap permodelan sudah mendekati keadaan sebenarnya

2. Pengecekan Gaya Pada Kolom

Pengecekan gaya yang terjadi pada kolom, dilakukan dengan mengecek pada kolom lantai 1 sebagai berikut:

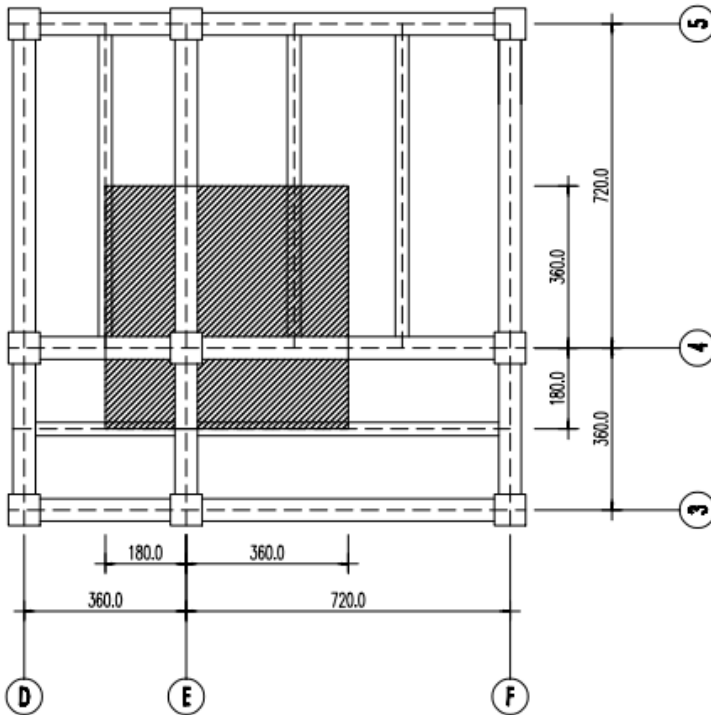


Untuk gaya yang terjadi pada program bantu SAP 2000 v.14 pada titik yang ditinjau (joint 146) dengan aksial yang terjadi (beban kombinasi 1,4D) adalah sebagai berikut:

Joint Reactions in Joint Local CoordSys			
Joint Object	146		
	Joint Element 146		
	1	2	3
Force	2792.717	1769.929	410213.4
Moment	3334.869	-833.264	-29.408

Aksial terjadi = 410213,4 kg

Untuk gaya yang terjadi dengan menggunakan perhitungan manual (*Tributary Area*) pada kolom adalah sebagai berikut:



$$\begin{aligned}\text{Area total} &= (1,8 + 3,6) \times (1,8 + 3,6) \\ &= 29,16 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Beban mati total yang terdapat pada *tributary area*:

- Berat dinding:
 $= (3,6 + 3,6 + 1,8) \times 378 = 3402 \text{ kg}$
- Berat sendiri balok:
 $= (1,8 + 3,6 + 1,8 + 3,6) \times 0,5 \text{ m} \times 0,56 \text{ m} \times 2360 \text{ kg/m}^3$
 $= 7136,64 \text{ kg}$

- Berat sendiri balok anak:
 $= (1,8 + 3,6 + 3,6 + 3,6) \times 0,5 \text{ m} \times 0,36 \text{ m} \times 2360 \text{ kg/m}^3$
 $= 3211,49 \text{ kg}$
- Berat sendiri kolom:
 $= (0,8 \times 0,8) \times 4,2 \text{ m} \times 2360 \text{ kg/m}^3$
 $= 6343,68 \text{ kg}$
- Berat mati tambahan pelat:
 - Plafond $= 5 \text{ kg/m}^2$
 - Penggantung $= 10 \text{ kg/m}^2$
 - Keramik + Spesi $= 110 \text{ kg/m}^2$
 - Sanitasi $= 20 \text{ kg/m}^2$
 - *Mechanical Ducting* $= \frac{19 \text{ kg/m}^2 + 164 \text{ kg/m}^2}{164 \text{ kg/m}^2}$
- Berat sendiri pelat + beban mati tambahan:
 $= (29,16 \text{ m}^2 \times 0,14 \text{ m} \times 2360 \text{ kg/m}^3) +$
 $(164 \text{ kg/m}^2 \times 2360 \text{ kg/m}^3)$
 $= 14416,7 \text{ kg}$

Total aksial pada *Joint*:

$$= 8 \times (3402 \text{ kg/m} + 7136,64 \text{ kg} + 3211,49 \text{ kg} + 6343,68 \text{ kg} + 14416,7 \text{ kg})$$

$$= 276084 \text{ kg}$$

Kombinasi 1,4D:

$$= 1,4 (276084 \text{ kg}) = 386518 \text{ kg}$$

$$\text{Selisih} = \frac{410213,4 - 386518}{410213,4} \times 100\% = 5,77\% \leq 10\%$$

Karena gaya aksial yang dihitung menggunakan SAP 2000 v.14 dan gaya aksial yang dihitung manual relatif sama, maka dianggap permodelan sudah mendekati keadaan sebenarnya.

4.3.7.3 Kontrol Partisipasi Massa

Menurut SNI 1726 ps 7.9.1, bahwa perhitungan respon dinamik struktur harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90% dari massa aktual dari masing-masing arah

Dalam hal ini digunakan bantuan program SAP 2000 untuk mengeluarkan hasil partisipasi massa seperti pada Tabel 4.22 berikut:

Tabel 4. 24 Modal Rasio Partisipasi Massa

OutputCase	StepNum	Period	SumUX	SumUY
Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless
MODAL	1	1.245607	0.019	0.727
MODAL	2	1.212498	0.783	0.752
MODAL	3	1.048701	0.794	0.789
MODAL	4	0.393536	0.801	0.895
MODAL	5	0.38825	0.903	0.902
MODAL	6	0.335449	0.905	0.904
MODAL	7	0.216813	0.929	0.918
MODAL	8	0.21553	0.943	0.944
MODAL	9	0.187302	0.944	0.944
MODAL	10	0.147576	0.955	0.949
MODAL	11	0.14575	0.963	0.954
MODAL	12	0.145424	0.963	0.965

Dari tabel di atas didapat partisipasi massa arah X sebesar 96,3% pada moda ke 11 dan partisipasi massa arah Y sebesar 96,5% pada moda ke 12. Maka dapat disimpulkan analisis struktur yang sudah dilakukan telah memenuhi syarat yang terdapat pada SNI-03-1726-2012 pasal 7.9.1 yaitu partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90%.

4.3.7.4 Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental

Untuk mencegah penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental (T) dari struktur gedung harus dibatasi. Berdasarkan SNI 03-1726-2012, periode fundamental struktur harus ditentukan dari:

$$T = C_t \times h_n^x$$

Dimana:

h_n : Ketinggian struktur

C_t : Parameter pendekatan tipe struktur

x : Parameter pendekatan tipe struktur

Koefisien C_t dan x ditentukan dari Tabel 6.5 SNI 03-1726-2012.

Tabel 4. 25 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

TipeStruktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 persen gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

Untuk nilai struktur beton SRPMK didapatkan nilai

$C_t = 0,0466$ dan $x = 0,9$; sehingga:

$T_a \text{ SRPMK} = 0,0466 \cdot (33,60 \text{ m})^{0,9} = 1,102 \text{ detik}$

Dengan batas atas periode fundamental struktur berdasarkan SNI 03-1726-2012 Tabel 24 sebesar:

Tabel 4. 26 Koefisien untuk Batas Atas dari Periode yang Dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{DI}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Karena nilai $S_{DI} = 0,496 > 0,4$, maka didapatkan nilai $C_u = 1,4$ sehingga:

$C_u \cdot T_a \text{ SRPMK} = 1,4 \cdot 1,102 \text{ detik} = 1,542 \text{ detik}$

Dari permodelan pada SAP 2000 didapatkan:

Tabel 4. 27 Modal Periode dan Frekusensi Struktur

OutputCase	StepType	StepNum	Period
Text	Text	Unitless	Sec
MODAL	Mode	1	1.245607
MODAL	Mode	2	1.212498
MODAL	Mode	3	1.048701
MODAL	Mode	4	0.393536
MODAL	Mode	5	0.38825
MODAL	Mode	6	0.335449
MODAL	Mode	7	0.216813
MODAL	Mode	8	0.21553
MODAL	Mode	9	0.187302
MODAL	Mode	10	0.147576
MODAL	Mode	11	0.14575
MODAL	Mode	12	0.145424

Didapatkan T terbesar dari analisis program SAP 2000 v.14 yakni:

T SRPMK (Mode 1) = 1.245607 detik

Perbandingan nilai untuk periode fundamental struktur SRPMK sebagai berikut:

$$T_a \leq T \leq C_u \cdot T_a$$

$$1,102 \text{ detik} \leq 1.245607 \text{ detik} \leq 1,542 \text{ detik (OK)}$$

Karena nilai periode fundamental struktur telah memenuhi persyaratan yang ada, maka sistem struktur *SRPMK* dapat dipakai.

4.3.7.5 Kontrol Nilai Akhir Respon Spektrum

Berdasarkan SNI 03-1726-2012, nilai akhir respon dinamik struktur gedung dalam arah yang ditetapkan tidak boleh kurang dari 85% nilai respons statik. Rumus gaya geser statik adalah:

$$V = C_s \times W \quad (\text{SNI 03-1726-2012 Pasal 7.8.1})$$

Dimana:

1. Nilai C_s Minimum:

$$C_s \text{ min} = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I \geq 0,01$$

$$C_s \text{ min} = 0,044 \cdot 0,607 \cdot 1,5 \geq 0,01$$

$$C_s \text{ min} = 0,0401 \geq 0,01$$

2. Nilai C_s :

➤ Untuk SRPMK

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e} \right)} = \frac{0,607}{\left(\frac{8}{1,5} \right)} = 0,1139$$

3. Nilai Cs Maksimum:

➤ Untuk SRPMK

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)}$$

$$C_s = \frac{0,496}{1,245607 \times \left(\frac{8}{1,5}\right)} = 0,0747$$

Dari perhitungan nilai Cs di atas dapat direkapitulasi pada tabel dibawah ini:

Tabel 4. 28 Rekapitulasi Nilai Cs

	Cs min	Cs	Cs max	Cs Pakai
Arah X	0.0401	0.1139	0.0747	0.0747
Arah Y	0.0401	0.1139	0.0747	0.0747

Penentuan gaya geser dasar dinamis struktur menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V = C_s \times W \quad (\text{SNI 03-1726-2012 Pasal 7.8.1})$$

Dimana:

Cs : Koefisien respons seismik

Wt : Total beban mati, beban mati tambahan dan beban hidup

Dari analisis yang sudah dilakukan, didapatkan nilai berat total struktur gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya adalah:

Tabel 4. 29 Reaksi Dasar Struktur

OutputCase	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Kgf	Kgf	Kgf
1.4DL	9.386E-07	-7.927E-07	8674926.24
1.2DL+1.6LL	0.000001551	-1.345E-06	8643874.96
1.2DL+1.0EX+1.0LL	696026	203732.7	8198512.21
1.2DL+1.0EX+1.0LL	-696026	-203732.7	8183069.79
1.2DL+1.0EY+1.0LL	213318.11	663348.45	8198487.67
1.2DL+1.0EY+1.0LL	-213318.11	-663348.45	8183094.33
1.0DL+1.0LL	0.000001137	-9.819E-07	6951515.82
0.9DL+1.0EX	696026	203732.7	5584459.51
0.9DL+1.0EX	-696026	-203732.7	5569017.09
0.9DL+1.0EY	213318.11	663348.45	5584434.97
0.9DL+1.0EY	-213318.11	-663348.45	5569041.63
1.2DL+1.6LL+0.5Lr	0.000001553	-1.346E-06	8666477.2
1.2DL+1.6Lr+1.0LL	0.00000128	-1.101E-06	8263118.16
1.2DL+1.0W+1.0LL+0.5Lr	1091.52	444.58	8213393.24
0.9DL+1.0W	1091.52	444.58	5576738.3
0.78DL+1.0EX	696026	203732.7	4840894.4
0.78DL+1.0EX	-696026	-203732.7	4825451.98
0.78DL+1.0EY	213318.11	663348.45	4840869.86
0.78DL+1.0EY	-213318.11	-663348.45	4825476.52
1.32DL+1.3EX+1.0LL+0.2Lr	277313.54	862352.98	8953402.67
1.32DL+1.3EX+1.0LL+0.2Lr	-277313.54	-862352.98	8933391.33
1.32DL+1.3EY+1.0LL+0.2Lr	277313.54	862352.98	8953402.67
1.32DL+1.3EY+1.0LL+0.2Lr	-277313.54	-862352.98	8933391.33
1.2DL+1.6LL+0.5R	0.000001551	-1.345E-06	8643874.96
1.2DL+1.0W+1.0LL+0.5R	1091.52	444.58	8190791

Dari tabel di atas didapat berat total struktur adalah 6951515.82 kg. Maka:

$$\begin{aligned} V_{statik} &= C_s \times W \\ &= 0,0747 \times 6951515,82 \\ &= 518991,696 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dari hasil analisis menggunakan program SAP 2000 didapatkan nilai gaya geser dasar (*base shear*) sebagai berikut:

Tabel 4. 30 Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa

OutputCase	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf
GEMPA X	Max	696026	203732.7	7721.21
GEMPA Y	Max	213318.11	663348.45	7696.67

Kontrol:

- Untuk gempa arah X:

$$\begin{aligned} V_{dinamik} &\geq 85\% V_{Statik} \\ 696026 &\geq 85\% \times 518991,696 \\ 696026 &> 441142,942 \text{ kg (OK)} \end{aligned}$$

- Untuk gempa arah Y:

$$\begin{aligned} V_{dinamik} &\geq 85\% V_{Statik} \\ 663348,45 &\geq 85\% \times 518991,696 \\ 663348,45 &> 441142,942 \text{ kg (OK)} \end{aligned}$$

Dari kontrol di atas dapat disimpulkan bahwa analisis struktur gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya sudah memenuhi persyaratan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.8.

4.3.7.6 Kontrol Batas Simpangan Antar Lantai (*Drift*)

Pembatasan simpangan antar lantai suatu struktur bertujuan untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni.

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.9.3 untuk memenuhi persyaratan simpangan digunakan rumus:

$$\Delta_i \leq \Delta_a$$

Dimana:

Δ_i = Simpangan yang terjadi

Δ_a = Simpangan ijin antar lantai

Perhitungan Δ_i untuk tingkat 1:

$$\Delta_1 = \frac{C_d \times \delta_{e1}}{I}$$

Perhitungan Δ_i untuk tingkat 2:

$$\Delta_2 = \delta_{e2} - \delta_{e1} \times \frac{C_d}{I}$$

Dimana:

δ_{e1} = Simpangan yang dihitung akibat beban gempa tingkat 1

δ_{e2} = Simpangan yang dihitung akibat beban gempa tingkat 2

C_d = Faktor pembesaran defleksi

I = Faktor keutamaan gedung

Untuk sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK), dari tabel 9 SNI 03-1726-2012 didapatkan nilai $C_d = 5,5$ dan dari tabel 2 SNI 03-1726-2012 didapat nilai $I = 1,5$. Dari tabel 16 SNI 03-1726-2012 untuk sistem struktur yang lain simpangan antar tingkat ijinnya adalah:

$$\Delta_a = 0,010 \times h_{sx}$$

Dimana:

h_{sx} = Tinggi tingkat dibawah tingkat x

- Untuk tinggi tingkat 4,200 m, simpangan ijinnya adalah:

$$\Delta_a = 0,010 \times 4,20$$

$$= 0,042 \text{ m}$$

$$= 42 \text{ mm}$$

Dari analisis akibat beban lateral (beban gempa) dengan program SAP 2000, diperoleh nilai simpangan yang terjadi pada struktur yaitu sebagai berikut:

Tabel 4. 31 Simpangan Antar Lantai yang Terjadi Akibat Beban

Lantai	Tinggi Lantai	Gempa Arah X		Gempa Arah Y	
	Zi	Simpangan		Simpangan	
	(m)	X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)
Atap	33.60	40.012	11.119	16.069	30.393
8	29.40	37.467	10.418	14.905	28.582
7	25.20	33.857	9.421	13.334	25.907
6	21.00	29.178	8.127	11.373	22.386
5	16.80	23.579	6.577	9.091	18.140
4	12.60	17.266	4.828	6.581	13.326
3	8.40	10.530	2.956	3.965	8.160
2	4.20	3.990	1.129	1.485	3.114
1	0	0	0	0	0

Tabel 4. 32 Kontrol Simpangan Arah X Akibat Beban Gempa Arah X

Lantai	Tinggi Lantai	Gempa Arah X				Ket
	Zi	Simpangan Arah X				
	(m)	Δ (mm)	δ_{ei} (mm)	δ_i (mm)	Δa (mm)	
Atap	33.60	40.012	2.545	9.333	42	OK
8	29.40	37.467	3.610	13.235	42	OK
7	25.20	33.857	4.679	17.157	42	OK
6	21.00	29.178	5.599	20.531	42	OK
5	16.80	23.579	6.313	23.146	42	OK
4	12.60	17.266	6.736	24.699	42	OK
3	8.40	10.530	6.540	23.979	42	OK
2	4.20	3.990	3.990	14.631	42	OK
1	0	0.000	0.000	0.000	42	OK

Tabel 4. 33 Kontrol Simpangan Arah Y Akibat Beban Gempa Arah X

Lantai	Tinggi Lantai	Gempa Arah X				Ket
	Zi	Simpangan Arah Y				
	(m)	Δ (mm)	δ_{ei} (mm)	δ_i (mm)	Δa (mm)	
Atap	33.60	11.119	0.700	2.568	42	OK
8	29.40	10.418	0.997	3.656	42	OK
7	25.20	9.421	1.294	4.746	42	OK
6	21.00	8.127	1.550	5.682	42	OK
5	16.80	6.577	1.749	6.414	42	OK
4	12.60	4.828	1.872	6.863	42	OK
3	8.40	2.956	1.828	6.701	42	OK
2	4.20	1.129	1.129	4.138	42	OK
1	0	0.000	0.000	0.000	42	OK

Tabel 4. 34 Kontrol Simpangan Arah X Akibat Beban Gempa Arah Y

Lantai	Tinggi Lantai	Gempa Arah Y				Ket
	Zi	Simpangan Arah X				
	(m)	Δ (mm)	δ_{ei} (mm)	δ_i (mm)	Δa (mm)	
Atap	33.60	16.069	1.164	4.269	42	OK
8	29.40	14.905	1.571	5.760	42	OK
7	25.20	13.334	1.961	7.191	42	OK
6	21.00	11.373	2.282	8.367	42	OK
5	16.80	9.091	2.511	9.205	42	OK
4	12.60	6.581	2.615	9.589	42	OK
3	8.40	3.965	2.480	9.093	42	OK
2	4.20	1.485	1.485	5.446	42	OK
1	0	0.000	0.000	0.000	42	OK

Tabel 4. 35 Kontrol Simpangan Arah Y Akibat Beban Gempa Arah Y

Lantai	Tinggi Lantai	Gempa Arah Y				Ket
	Zi	Simpangan Arah Y				
	(m)	Δ (mm)	δ_{ei} (mm)	δ_i (mm)	Δa (mm)	
Atap	33.60	30.393	1.811	6.641	42	OK
8	29.40	28.582	2.675	9.808	42	OK
7	25.20	25.907	3.521	12.911	42	OK
6	21.00	22.386	4.246	15.567	42	OK
5	16.80	18.140	4.814	17.653	42	OK
4	12.60	13.326	5.166	18.942	42	OK
3	8.40	8.160	5.046	18.502	42	OK
2	4.20	3.114	3.114	11.416	42	OK
1	0	0.000	0.000	0.000	42	OK

Dari hasil kontrol tabel di atas maka analisis struktur gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya memenuhi persyaratan sesuai dengan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.9.3 dan Pasal 7.12.1.

4.4 Perencanaan Struktur Utama

4.4.1 Umum

Struktur utama merupakan suatu komponen utama dimana kekakuannya mempengaruhi perilaku gedung tersebut. Struktur utama memiliki fungsi untuk menahan pembebanan yang berasal dari beban gravitasi dan beban lateral berupa beban gempa maupun beban angin. Komponen utama terdiri dari balok induk, dan kolom. Pada bab ini akan dibahas mengenai kekuatan struktur utama mencakup kebutuhan tulangan yang diperlukan pada komponen tersebut.

4.4.2 Perencanaan Balok Induk

Balok induk merupakan struktur utama yang memikul beban struktur sekunder dan meneruskan beban tersebut ke kolom. Didalam preliminary desain gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya direncanakan dimensi balok induk dengan menggunakan sistem pracetak.

Maka dari itu, penulangan lentur balok induk dihitung dalam tiga kondisi, yaitu sebelum komposit, saat pengangkatan dan setelah komposit. Dengan adanya tiga kondisi tersebut nantinya akan dipilih tulangan yang lebih kritis untuk digunakan pada penulangan balok induk.

4.4.2.1 Data Perencanaan

Data perencanaan yang diperlukan meliputi:

- Mutu beton (f_c') = 35 MPa
- Mutu baja (f_y) = 400 MPa
- Mutu baja (f_{yv}) = 240 MPa
- Dimensi balok = 50/70 cm
- Diameter tulangan longitudinal = 22 mm
- Diameter tulangan sengkang = 13 mm

Berdasarkan SNI 7833-2012 Gambar R4.6.2

$$\begin{aligned}\text{Panjang landasan} &= \frac{ln}{180} = \geq 75 \text{ mm} \\ &= \frac{6400}{180} = \geq 75 \text{ mm} \\ &= 35,55 \text{ mm} \geq 75 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka digunakan panjang landasan 75 mm

$$\begin{aligned}\text{Jadi, panjang balok pracetak} &= 640 \text{ cm} + (7,5 \times 2) \\ &= 685 \text{ cm}\end{aligned}$$

4.4.2.2 Penulangan Lentur Balok Induk Sebelum Komposit

Balok pracetak pada saat sebelum komposit dihitung sebagai balok sederhana pada tumpuan dua sendi. Pembebanan pada balok induk sebelum komposit konsepnya sama dengan pembebanan balok anak sesudah komposit yang telah dihitung sebelumnya. Perhitungan untuk pembebanan merata pada balok induk menggunakan konsep menggunakan konsep tributari area. Pada penulangan balok induk, perhitungan balok induk dengan panjang bentang 7,2 m dijadikan sebagai contoh perhitungan. Dimensi balok induk sebelum komposit = 50/56

Berikut ini merupakan beban merata (q) yang terjadi pada balok :

Beban mati

$$\text{Berat sendiri pelat pracetak} = 0,08 \times 2360 = 188,8 \text{ kg/m}^2$$

Beban hidup

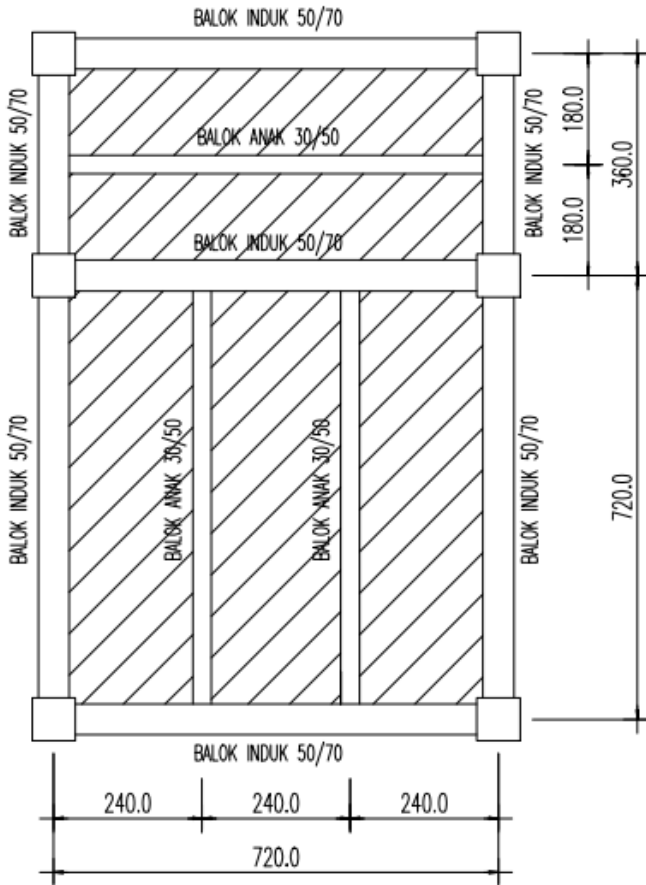
$$\text{Beban pekerja} = 200 \text{ kg/m}^2 \text{ (2 orang)}$$

$$\text{Dimensi balok induk sebelum komposit} = 50/56$$

$$\text{Bentang balok induk} = 7,2 \text{ meter}$$

a) Pelat dalam kondisi sebelum terdapat overtopping

Pada kondisi sebelum komposit, beban yang dihitung hanyalah menerima beban mati dan beban hidup dari pelat pracetak, balok anak, serta berat dari balok induk itu sendiri.



Gambar 4. 37 Detail Pembalokan

Beban pada balok anak

$$L_{x1} = 240 - \left(\frac{50}{2} + \frac{30}{2} \right) = 200 \text{ cm}$$

$$L_{x2} = 240 - \left(\frac{30}{2} + \frac{30}{2} \right) = 210 \text{ cm}$$

$$L_y = 720 - \left(\frac{50}{2} + \frac{50}{2} \right) = 670 \text{ cm}$$

- Beban mati (Q_{DL}):

$$\text{Berat balok anak} = 0,3 \times 0,36 \times 2360 = 254,88 \text{ kg/m}$$

$$q \text{ pelat sebelum komposit} = 0,08 \times 2360 \text{ kg/m}^3$$

$$= 188,8 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{BeratEkivalen} &= \left(\frac{1}{2} \times q \times Lx1 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{Lx1}{Ly} \right)^2 \right) \right) + \\ &\quad \left(\frac{1}{2} \times q \times Lx2 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{Lx2}{Ly} \right)^2 \right) \right) \\ &= \left(\frac{1}{2} \times 188,8 \times 2,00 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{2,00}{6,7} \right)^2 \right) \right) + \\ &\quad \left(\frac{1}{2} \times 188,8 \times 2,1 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{2,1}{6,7} \right)^2 \right) \right) \\ &= 375 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{Total beban mati balok anak} = 254,88 + 375 = 629,82 \text{ kg/m}$$

Terdapat 2 balok anak, maka:

$$2 \times 629,82 \text{ kg/m} = 1259,64 \text{ kg/m}$$

- Beban hidup (Q_{LL}):

$$\begin{aligned} \text{BeratEkivalen} &= \left(\frac{1}{2} \times q \times Lx1 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{Lx1}{Ly} \right)^2 \right) \right) + \\ &\quad \left(\frac{1}{2} \times q \times Lx2 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{Lx2}{Ly} \right)^2 \right) \right) \\ &= \left(\frac{1}{2} \times 200 \times 2,00 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{2,00}{6,7} \right)^2 \right) \right) + \\ &\quad \left(\frac{1}{2} \times 200 \times 2,1 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{2,1}{6,7} \right)^2 \right) \right) \\ &= 397 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2 D + 1,6 L \\ &= 1,2 (1259,64) + 1,6 (397) = 2147,062 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Kemudian berat total dari balok anak ini dijadikan sebagai beban terpusat (P_D) pada saat pembebanan balok induk.

$$P_u = 2147,062 \text{ kg/m} \times \frac{7,2 \text{ m}}{3} = 5152,948 \text{ kg}$$

Beban pada balok induk

Beban yang bekerja pada balok induk adalah berat sendiri balok induk dan beban ekivalen pelat. Kemudian dari beban tersebut ditambahkan P_u dari total pembebanan dari struktur sekunder balok anak dan pelat.

$$L_x = 180 - \left(\frac{50}{2} + \frac{30}{2} \right) = 140 \text{ cm}$$

$$L_y = 720 - \left(\frac{50}{2} + \frac{50}{2} \right) = 670 \text{ cm}$$

- Beban mati (Q_{DL}):

$$\text{Berat balok induk} = 0,5 \times 0,56 \times 2360 = 660,8 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat ekivalen pelat 1} &= \frac{1}{4} \times q \times L_{x1}^2 \times \frac{1}{4} \times q \times L_{x2}^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 188,8 \times 2,00^2 + \frac{1}{4} \times 188,8 \times 2,10^2 \\ &= 396,952 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

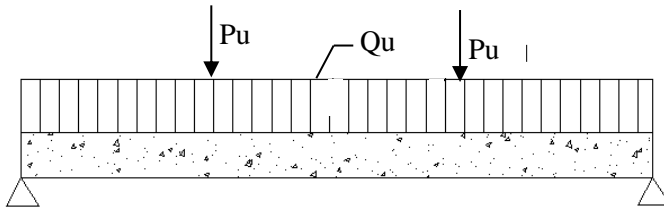
$$\begin{aligned} \text{Berat ekivalen pelat 2} &= 2x \frac{1}{2} \times q \times L_x \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{L_x}{L_y} \right)^2 \right) \\ &= 2x \frac{1}{2} \times 188,8 \times 1,40 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{1,40}{6,7} \right)^2 \right) \\ &= 260,47 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{Berat ekivalen pelat} = 396,952 + 260,47 = 657,43 \text{ kg/m}$$

Total beban mati balok induk = $660,8 + 657,43 = 1318,23 \text{ kg/m}$

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2D \\ &= 1,2 \times 1318,23 \\ &= 1581,87 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas dapat digambarkan pembebanan pada balok induk sebelum komposit dalam gambar 4.38 berikut:



Gambar 4. 38 Pembebanan Balok Induk Sebelum Komposit

$$\begin{aligned} M_{tump} &= \left(\frac{1}{10} \times Q_u \times L^2 \right) + (P_u) \\ &= \left(\frac{1}{10} \times 1581,87 \times 7,2^2 \right) + (5152,948) \\ &= 13353,362 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lap} &= \left(\frac{1}{14} \times Q_u \times L^2 \right) + (P_u) \\ &= \left(\frac{1}{14} \times 1581,87 \times 7,2^2 \right) + (5152,948) \\ &= 11010,387 \text{ kgm} \end{aligned}$$

b) Pelat dalam kondisi terdapat *overtopping*

Beban mati

Pelat:

$$\text{Berat sendiri pelat pracetak} = 0,08 \times 2360 = 188,8 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Overtopping} &= 0,06 \times 2360 = 141,6 \text{ kg/m}^2 + \\ &= 330,4 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Beban hidup

Beban pekerja = 200 kg/m² (2 orang)

Dimensi balok induk sebelum komposit = 50/56

Bentang balok induk = 7,2 meter

Pada kondisi sebelum komposit, balok menerima beban mati dari pelat pracetak, *overtopping*, balok anak dan berat balok induk sendiri, serta beban hidup pekerja.

Beban pada balok anak

$$L_{x1} = 240 - \left(\frac{50}{2} + \frac{30}{2} \right) = 200 \text{ cm}$$

$$L_{x2} = 240 - \left(\frac{30}{2} + \frac{30}{2} \right) = 210 \text{ cm}$$

$$L_y = 720 - \left(\frac{50}{2} + \frac{50}{2} \right) = 670 \text{ cm}$$

- Beban mati (Q_{DL}):

Berat balok anak = 0,3 × 0,5 × 2360 = 354 kg/m

$$\begin{aligned} \text{BeratEkivalen} &= \left(\frac{1}{2} \times q \times L_{x1} \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{L_{x1}}{L_y} \right)^2 \right) \right) + \\ &\quad \left(\frac{1}{2} \times q \times L_{x2} \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{L_{x2}}{L_y} \right)^2 \right) \right) \\ &= \left(\frac{1}{2} \times 330,4 \times 2,00 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{2,00}{6,7} \right)^2 \right) \right) + \\ &\quad \left(\frac{1}{2} \times 330,4 \times 2,1 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{2,1}{6,7} \right)^2 \right) \right) \\ &= 656,15 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Total beban mati balok anak = 354 + 656,15 = 1010,15 kg/m

Terdapat 2 balok anak, maka:

$$2 \times 1010,15 \text{ kg/m} = 2020,29 \text{ kg/m}$$

- Beban hidup (Q_{LL}):

$$\begin{aligned}
 \text{BeratEkivalen} &= \left(\frac{1}{2} \times q \times Lx1 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{Lx1}{Ly} \right)^2 \right) \right) + \\
 &\quad \left(\frac{1}{2} \times q \times Lx2 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{Lx2}{Ly} \right)^2 \right) \right) \\
 &= \left(\frac{1}{2} \times 200 \times 2,00 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{2,00}{6,7} \right)^2 \right) \right) + \\
 &\quad \left(\frac{1}{2} \times 200 \times 2,1 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{2,1}{6,7} \right)^2 \right) \right) \\
 &= 397 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_u &= 1,2 D + 1,6 L \\
 &= 1,2 (2020,29) + 1,6 (397) = 3059,843 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Kemudian berat total dari balok anak ini dijadikan sebagai beban terpusat (P_D) pada saat pembebanan balok induk.

$$P_u = 3059,843 \text{ kg/m} \times \frac{7,2 \text{ m}}{3} = 7343,622 \text{ kg}$$

Beban pada balok induk

Beban yang bekerja pada balok induk adalah berat sendiri balok induk dan beban ekuivalen pelat. Kemudian dari beban tersebut ditambahkan P_u dari total pembebanan dari struktur sekunder balok anak dan pelat.

$$L_x = 180 - \left(\frac{50}{2} + \frac{30}{2} \right) = 140 \text{ cm}$$

$$L_y = 720 - \left(\frac{50}{2} + \frac{50}{2} \right) = 670 \text{ cm}$$

- Beban mati (Q_{DL}):

$$\text{Berat balok induk} = 0,5 \times 0,7 \times 2360 = 826 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat ekivalen pelat 1} &= \frac{1}{4} \times q \times L_{x1}^2 \times \frac{1}{4} \times q \times L_{x2}^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 330,4 \times 2,00^2 + \frac{1}{4} \times 330,4 \times 2,10^2 \\ &= 694,67 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

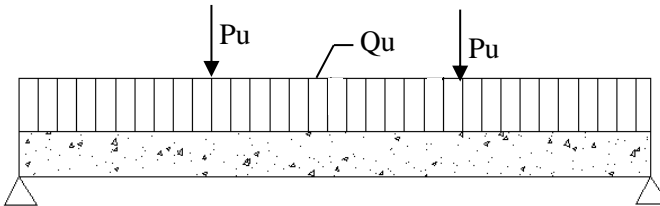
$$\begin{aligned} \text{Berat ekivalen pelat 2} &= 2x \frac{1}{2} \times q \times L_x \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{L_x}{L_y} \right)^2 \right) \\ &= 2x \frac{1}{2} \times 330,4 \times 1,40 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{1,40}{6,7} \right)^2 \right) \\ &= 455,83 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{Berat ekivalen pelat} = 694,67 + 455,83 = 1150,49 \text{ kg/m}$$

$$\text{Total beban mati balok induk} = 826 + 1150,49 = 1976,49 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2D \\ &= 1,2 \times 1976,49 \\ &= 2371,793 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas dapat digambarkan pembebanan pada balok induk sebelum komposit dalam gambar 4.39 berikut:



Gambar 4. 39 Pembebanan Balok Induk Sebelum Komposit

$$\begin{aligned}
 M_{tump} &= \left(\frac{1}{10} \times Q_u \times L^2 \right) + (P_u) \\
 &= \left(\frac{1}{10} \times 2371,793 \times 7,2^2 \right) + (7343,622) \\
 &= 19638,995 \text{ kgm} \\
 M_{lap} &= \left(\frac{1}{14} \times Q_u \times L^2 \right) + (P_u) \\
 &= \left(\frac{1}{14} \times 2371,793 \times 7,2^2 \right) + (19638,995) \\
 &= 16126,031 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

c) Perhitungan Tulangan Lentur

- **Data Perencanaan**

Dimensi Balok Induk	= 50/70
Bentang Balok Induk	= 7,2 m
Diameter Tulangan utama	= 22 mm
Diameter Sengkang	= 13 mm
Selimut beton	= 50 mm
Lebar Balok Induk (b)	= 500 mm
$dx = 560 - 50 - 13 - (0,5 \times 22)$	= 486 mm

- Menurut SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3 nilai β_1 ditentukan sebesar:

Tabel 4. 36 Tabel β_1

f'_c (Mpa)	28	35	42
	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
β_1	0,85	0,8	0,75

- Untuk mutu beton $f'_c = 35$ MPa berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3 harga dari β_1 adalah sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,8 + \frac{(30-28)}{(f'_c-28)} \times 0,05 \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,8 + \frac{(30-28)}{(35-28)} \times 0,05 \geq 0,65 = 0,81$$

Dengan demikian maka batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang diisyaratkan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,81 \times 35}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0363\end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,0363 = 0,0273$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

➤ Tulangan Tumpuan

$$M_{\text{tumpuan}} = 19638,995 \text{ kgm} = 196389950,6 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{0,8 \times b \times d x^2} = \frac{196389950,6}{0,8 \times 500 \times 486^2} = 2,079$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 2,079}{400}} \right) = 0,0054\end{aligned}$$

Syarat: $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,00350 < 0,0054 < 0,0273 \text{ (Memenuhi)}$$

dipakai $\rho_{\text{perlu}} = 0,0054$ sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= \rho \times b \times dx \\ &= 0,0054 \times 500 \times 486 = 1310,29 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{sD22}} \\ &= \frac{1310,29}{379,94} = 3,449 \approx 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, } A_s \text{ pakai} &= \text{Jumlah tulangan per meter} \times A_{sD22} \\ &= 4 \times 379,94 \\ &= 1519,76 \text{ mm}^2 \\ &= 1519,76 \text{ mm}^2 > A_{s\text{perlu}} = 1310,29 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Cek Syarat Minimum Tulangan

Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1

$$A_{s\text{ min}} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b w dx = \frac{0,25 \sqrt{35}}{400} 500 \times 486 = 899 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{ min}} = \frac{1,4}{f_y} b w dx = \frac{1,4}{400} 500 \times 486 = 851 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai} = 1519,76 \text{ mm}^2 > A_{s\text{ min}} \text{ (Memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan lentur 4D22

- Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{A_s}{b \times dx} = \frac{n \times A_{sD22}}{b \times dx} = \frac{4 \times 379,94}{500 \times 486} = 0,00625 > \rho_{\text{perlu}} = 0,0054$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times b \times f_c'} = \frac{(n \times A_{sD22}) \times f_y}{0,85 \times b \times f_c'} = \frac{1519,76 \times 400}{0,85 \times 500 \times 35} = 40,87 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \phi \times A_s \times f_y \left(dx - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 1519,76 \times 400 \left(486 - \frac{40,87}{2} \right) \\ &= 22641,57 \text{ kgm} > M_u = 19638,995 \text{ kgm} \dots\dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

• Cek Penampang

$$\frac{a}{dx} = \frac{40,87}{486} = 0,084$$

$$\frac{c}{dx} = 0,375 \times \beta_1 = 0,375 \times 0,81 = 0,305$$

Maka, $a/dt < c/dt$ OK

Digunakan **4 D22 mm** ($A_s = 1519,76 \text{ mm}^2$)

➤ **Tulangan Lapangan**

$$M_{\text{lapangan}} = 16126,031 \text{ kgm} = 161260323,5 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{0,8 \times b \times dx^2} = \frac{161260313,5}{0,8 \times 500 \times 486^2} = 1,707$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 1,707}{400}} \right) = 0,0044 \end{aligned}$$

Syarat: $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,00350 < 0,0044 < 0,0273 \text{ (**Memenuhi**)}$$

dipakai $\rho_{\text{perlu}} = 0,0044$ sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= \rho \times b \times dx \\ &= 0,0044 \times 500 \times 486 = 1068,50 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{sD22}} \\ &= \frac{1068,50}{379,94} = 2,812 \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

Sehingga, As pakai = Jumlah tulangan per meter x AsD22
 $= 3 \times 379,94$
 $= 1139,82 \text{ mm}^2$
 $= 1139,82 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = 1068,50 \text{ mm}^2$

• Cek Syarat Minimum Tulangan

Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1

$$\text{As min} = \frac{0,25 \sqrt{f'c'}}{f_y} b w dx = \frac{0,25 \sqrt{35}}{400} 500 \times 486 = 899 \text{ mm}^2$$

$$\text{As min} = \frac{1,4}{f_y} b w dx = \frac{1,4}{400} 500 \times 486 = 851 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai} = 1139,82 \text{ mm}^2 > \text{As min (Memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan lentur 3D22

• Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{\text{As}}{b \times dx} = \frac{n \times \text{AsD22}}{b \times dx} = \frac{3 \times 379,94}{500 \times 486} = 0,00469 > \rho_{\text{perlu}} = 0,0044$$

$$a = \frac{\text{As} \times f_y}{0,85 \times b \times f'c'} = \frac{(n \times \text{AsD22}) \times f_y}{0,85 \times b \times f'c'} = \frac{1139,82 \times 400}{0,85 \times 500 \times 35} = 30,65 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \phi \times \text{As} \times f_y \left(dx - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 1139,82 \times 400 \left(486 - \frac{30,65}{2} \right) \\ &= 17167,50 \text{ kgm} > M_u = 16126,031 \text{ kgm} \dots\dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

• Cek Penampang

$$\frac{a}{dx} = \frac{30,65}{486} = 0,063$$

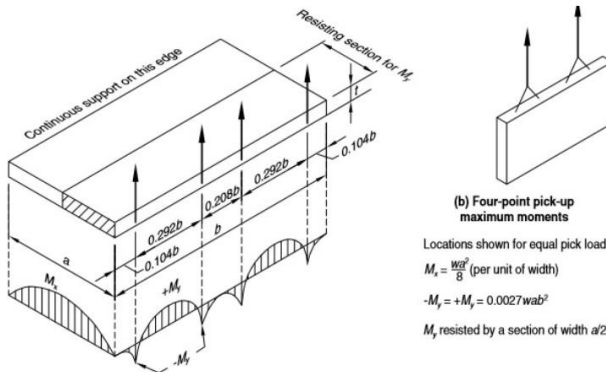
$$\frac{c}{dx} = 0,375 \times \beta_1 = 0,375 \times 0,81 = 0,305$$

Maka, $a/dt < c/dt \dots\dots\dots \text{OK}$

Digunakan **3 D22 mm (As = 1139,82 mm²)**

4.4.2.3 Penulangan Lentur Balok Induk Saat Pengangkatan

Perhitungan momen di bawah ini diperuntukkan untuk pelat namun bisa juga diaplikasikan pada balok induk.



Gambar 4. 40 Momen Saat Pengangkatan Balok Induk

Beban yang bekerja pada balok anak pada waktu pengangkatan:

Berat sendiri (w) = $0,56 \times 7,2 \times 2360 = 9515,52 \text{ kg/m}$

Perhitungan momen sesuai *PCI Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete*, fig. 8.3.1. Terdapat 2 titik angkat untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan faktor akibat *handling and erection* sebesar 1,2:

$$M_y = M_{+(lap)} = M_{-(tump)} = (0,0027 \times w \times a \times b^2) \times 1,2$$

$$M_y = (0,0027 \times 9515,52 \times 0,5 \times 7,2^2) \times 1,2$$

$$M_y = 799,121 \text{ kgm}$$

a) Perhitungan Tulangan Lentur

- **Data Perencanaan**

Dimensi Balok Induk	= 50/70
Bentang Balok Induk	= 7,2 m
Diameter Tulangan utama	= 22 mm
Diameter Sengkang	= 13 mm
Selimut beton	= 50 mm
Lebar Balok Induk (b)	= 500 mm
$dx = 560 - 50 - 13 - (0,5 \times 22)$	= 486 mm

- Menurut SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3 nilai β_1 ditentukan sebesar:

Tabel 4. 37 Tabel β_1

f'_c (Mpa)	28	35	42
	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
β_1	0,85	0,8	0,75

- Untuk mutu beton $f'_c = 35$ MPa berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3 harga dari β_1 adalah sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,8 + \frac{(30-28)}{(f'_c-28)} \times 0,05 \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,8 + \frac{(30-28)}{(35-28)} \times 0,05 \geq 0,65 = 0,81$$

Dengan demikian maka batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang diisyaratkan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,81 \times 35}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0363 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,0363 = 0,0273$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

$$M = 7991209,82 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{0,8 \times b \times d x^2} = \frac{7991209,82}{0,8 \times 500 \times 486^2} = 0,085$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 0,085}{400}} \right) = 0,00021 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,00350 > 0,00021 < 0,0273 \text{ (**Tidak Memenuhi**)}$$

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 10.5 (3) sebagai alternatif, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

Maka ρ diperbesar 30% $\times \rho = 1,3 \times 0,00021 = 0,00028$

dipakai $\rho = 0,00028$, sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= \rho \times b \times d_x \\ &= 0,00028 \times 500 \times 486 = 66,89 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{sD22}} \\ &= \frac{66,89}{379,94} = 0,176 \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, } A_s \text{ pakai} &= \text{Jumlah tulangan per meter} \times A_{sD22} \\ &= 3 \times 379,94 \\ &= 1139,82 \text{ mm}^2 \\ &= 1139,82 \text{ mm}^2 > A_{s\text{perlu}} = 66,89 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Cek Syarat Minimum Tulangan

Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1

$$A_s \text{ min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b w d_x = \frac{0,25 \sqrt{35}}{400} 500 \times 486 = 899 \text{ mm}^2$$

$$A_s \min = \frac{1,4}{f_y} b w d x = \frac{1,4}{400} 500 \times 486 = 851 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai} = 1139,82 \text{ mm}^2 > A_s \min \text{ (Memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan lentur 3D22

• Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d x} = \frac{n \times A_{sD22}}{b \times d x} = \frac{3 \times 379,94}{500 \times 486} = 0,00469 > \rho_{\text{perlu}} = 0,00028$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times b \times f_{c'}} = \frac{(n \times A_{sD22}) \times f_y}{0,85 \times b \times f_{c'}} = \frac{1139,82 \times 400}{0,85 \times 500 \times 35} = 30,65 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \phi \times A_s \times f_y \left(d x - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 1139,82 \times 400 \left(486 - \frac{30,65}{2} \right) \\ &= 17167,502 \text{ kgm} > M_u = 799,121 \text{ kgm} \dots\dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

• Cek Penampang

$$\frac{a}{d x} = \frac{30,65}{486} = 0,063$$

$$\frac{c}{d x} = 0,375 \times \beta_1 = 0,375 \times 0,81 = 0,305$$

Maka, $a/dx < c/dx$ OK

Digunakan **3 D22 mm** ($A_s = 1139,82 \text{ mm}^2$)

4.4.2.4 Penulangan Lentur Balok Induk Setelah Komposit

Perencanaan balok induk didesain dengan menggunakan tulangan rangkap dimana untuk merencanakan tulangan lentur diperhitungkan gaya gempa arah bolak balik (kiri dan kanan) yang akan menghasilkan momen positif dan negatif pada tumpuan. Hasil perencanaan tulangan yang nantinya akan digunakan merupakan kombinasi dari perencanaan bertahap tersebut dengan mengambil jumlah tulangan yang terbesar.

a) Data Perencanaan

Data - data yang akan digunakan dalam merencanakan balok induk pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

Mutu beton ($f'c$)	= 35 MPa
Mutu baj (f_y) tulangan	= 400 MPa
Dimensi balok induk	= 50/70 cm
Panjang balok induk	= 7,2 m
Tebal <i>decking</i>	= 50 mm
Diameter tulangan utama	= 22 mm
Diameter sengkang	= 13 mm
Lebar balok induk (b)	= 500 mm
$d = 700 - 50 - 13 - (0,5 \times 22)$	= 626 mm
$d' = 50 + 13 + (0,5 \times 22)$	= 74 mm

b) Output SAP 2000 v14

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP 2000 v14, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok.

Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 v14 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa.

Kombinasi pembebanan non-gempa dan pembebanan gempa:

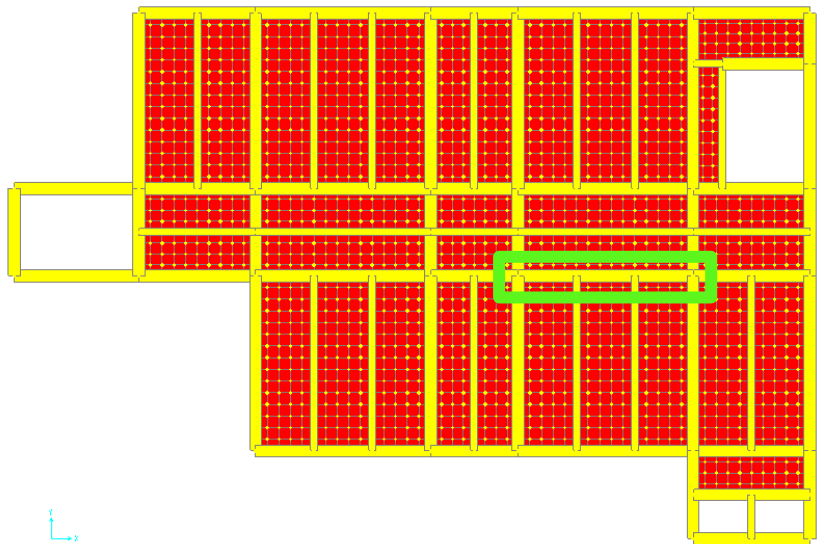
1. $U = 1,4 D$
2. $U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 L_r$
3. $U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 R$
4. $U = 1,2 D + 1,6 L_r + 1,0 L$
5. $U = 1,2 D + 1,6 R + 1,0 L$
6. $U = 1,2 D + 1,6 L_r + 0,5 W_x$
7. $U = 1,2 D + 1,6 L_r + 0,5 W_y$
8. $U = 1,2 D + 1,6 R + 0,5 W_x$
9. $U = 1,2 D + 1,6 R + 0,5 W_y$
10. $U = 1,2 D + 1,0 W_x + 1,0 L + 0,5 L_r$

11. $U = 1,2 D + 1,0 W_y + 1,0 L + 0,5 L_r$
12. $U = 1,2 D + 1,0 W_x + 1,0 L + 0,5 R$
13. $U = 1,2 D + 1,0 W_y + 1,0 L + 0,5 R$
14. $U = 0,9 D + 1,0 W_x$
15. $U = 0,9 D + 1,0 W_y$
16. $U = 0,78 D + 1,3 E_x + 0,39 E_y$
17. $U = 0,78 D + 0,39 E_x + 1,3 E_y$
18. $U = 1,32 D + 1,3 E_x + 0,39 E_y + 1,0 L$
19. $U = 1,32 D + 0,39 E_x + 1,3 E_y + 1,0 L$
20. $U = 1,0 D + 1,0 L$

Untuk perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi $1,32 D + 0,39 E_x + 1,3 E_y + 1,0 L$ adalah kombinasi kritis dalam permodelan.

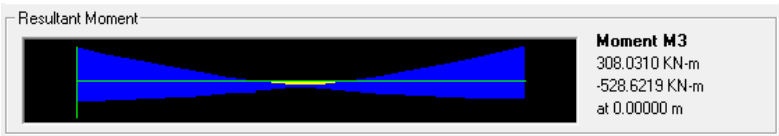
Balok yang ditinjau adalah Balok B1 (50/70) dengan bentang 7,2 m. Diambil momen tumpuan kanan, momen tumpuan kiri terbesar, dan momen lapangan terbesar, serta gaya aksial dan gaya torsi terbesar dari semua *frame* / balok B1 (50/70) dengan bentang 7,2 m. Kemudian dianalisa setiap *frame* yang memiliki gaya terbesar dengan menggunakan perhitungan penulangan balok. Setelah itu dipilih hasil penulangan *frame* yang kritis.

Didapat penulangan kritis pada *frame* 273:

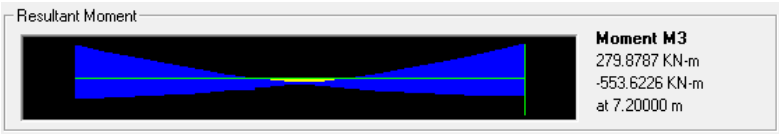


Gambar 4. 41 Denah Pembalok

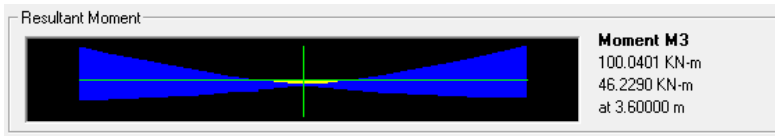
Dari analisa SAP2000 didapat nilai momen sebagai berikut:



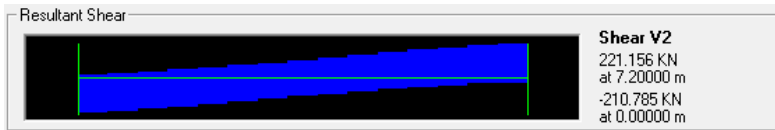
Gambar 4. 42 Diagram Momen Tumpuan Kiri pada Balok Induk



Gambar 4. 43 Diagram Momen Tumpuan Kanan pada Balok Induk



Gambar 4. 44 Diagram Momen Lapangan pada Balok Induk

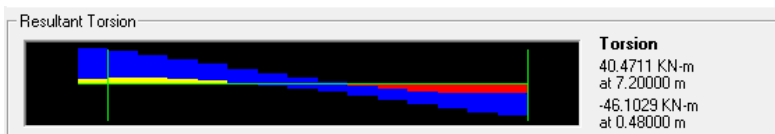


Gambar 4. 45 Diagram Geser pada Balok Induk

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasa; 21.5.3.2, V_u diambil tidak lebih dari 50 cm dari as kolom gaya geser terfaktor V_u



Gambar 4. 46 Diagram Aksial pada Balok Induk



Gambar 4. 47 Diagram Torsi pada Balok Induk

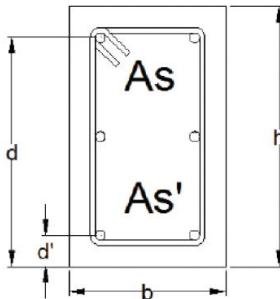
Kombinasi $1,32 D + 0,39 E_x + 1,3 E_y + 1,0 L$:

- Momen Tumpuan Kiri = 528,6219 kNm
- Momen Tumpuan Kanan = 553,6226 kNm
- Momen Lapangan = 100,0401 kNm
- Gaya Geser Terfaktor = 221,156 kN
- Gaya Aksial Terjadi = 15,439 kN
- Gaya Torsi Terjadi = 46,1029 kNm

c) Cek Syarat Komponen Struktur SRPMK

Untuk sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) berdasarkan peraturan SNI 2847-2013 Pasal 21.5.1 mensyaratkan komponen lentur harus memenuhi hal-hal berikut:

- Gaya aksial tekan terfaktor pada komponen struktur lentur harus kurang dari $0,1 A_g f_c'$. Berdasarkan hasil analisa SAP 2000 v14, gaya aksial tekan = 16,613 kN
 $16,613 \text{ kN} < 0,1 A_g f_c'$
 $16,613 \text{ kN} < 0,1 (500 \times 700) \times 35$
 $16,613 \text{ kN} < 1225 \text{ kN}$ (Memenuhi)
- Bentang bersih komponen struktur tidak boleh kurang dari 4 kali tinggi efektifnya.



Gambar 4. 48 Tinggi Efektif Balok

Maka, tinggi efektif balok:

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul. Lentur} \\ &= 700 - 50 - 13 - (\frac{1}{2} \times 22) \\ &= 626 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$L_n/d = 6400 / 626 = 10,224 \text{ mm} > 4 \text{ (Memenuhi)}$$

- Perbandingan lebar terhadap tinggi tidak boleh kurang dari 0,3
 $b/h = 500/700 = 0,714 > 0,3$ (Memenuhi)
- Lebar komponen tidak boleh:
 Kurang dari 250 mm (Memenuhi)
 Melebihi komponen struktur pendukung (diukur pada bidang tegak lurus)
 Lebar balok = 500 mm < lebar kolom = 800 mm (Memenuhi)

d) Gaya yang Terjadi pada Struktur

Analisa gaya dalam dimana yang ditinjau pada portal tepi balok. Momen *envelope* balok B1 yang ditinjau merupakan momen terbesar dari semua *frame*.

Tabel 4. 38 Momen *Envelope* pada Balok Akibat Beban Gravitasi dan Beban Gempa

Kondisi	Lokasi	Arah Goyangan	Mu (kNm)
1	Ujung Interior Kanan (negatif)	Kanan	553.6226
2	Ujung Eksterior Kanan (positif)	Kiri	279.8787
3	Ujung Interior Kiri (negatif)	Kiri	528.6219
4	Ujung Eksterior Kiri (positif)	Kanan	308.0310
5	Tengah Bentang (positif)	Kanan dan Kiri	100.0401

e) Perhitungan Tulangan Lentur

- **Data Perencanaan**

Dimensi Balok Induk	= 50/70
Bentang Balok Induk	= 7,2 m
Diameter Tulangan utama	= 22 mm
Diameter Sengkang	= 13 mm
Selimut beton	= 50 mm
Lebar Balok Induk (b)	= 500 mm
$dx = 700 - 50 - 13 - (0,5 \times 22)$	= 626 mm

- Menurut SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3 nilai β_1 ditentukan sebesar:

Tabel 4. 39 Tabel β_1

f'_c (Mpa)	28	35	42
	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
β_1	0,85	0,8	0,75

- Untuk mutu beton $f'_c = 35$ MPa berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3 harga dari β_1 adalah sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,8 + \frac{(30-28)}{(f'_c-28)} \times 0,05 \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,8 + \frac{(30-28)}{(35-28)} \times 0,05 \geq 0,65 = 0,81$$

Dengan demikian maka batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang diisyaratkan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,81 \times 35}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0363 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,0363 = 0,0273$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

➤ **Kondisi 1, Kolom interior kanan momen negatif tumpuan, goyangan ke kanan.**

$$M_u = 553,6226 \text{ kNm}$$

$$M_u = 553622600 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{0,8 \times b \times d x^2} = \frac{553622600}{0,8 \times 500 \times 626^2} = 3,5319$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 3,5319}{400}} \right) = 0,009427 \end{aligned}$$

Syarat: $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,00350 < 0,009427 < 0,0273 \text{ (**Memenuhi**)}$$

dipakai $\rho_{\text{perlu}} = 0,009427$ sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= \rho \times b \times d_x \\ &= 0,009427 \times 500 \times 626 = 2950,69 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{sD22}} \\ &= \frac{2950,69}{379,94} = 7,766 \approx 8 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, } A_s \text{ pakai} &= \text{Jumlah tulangan per meter} \times A_{sD22} \\ &= 8 \times 379,94 \\ &= 3039,52 \text{ mm}^2 \\ &= 3039,52 \text{ mm}^2 > A_{s\text{perlu}} = 2950,69 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Cek Syarat Minimum Tulangan

Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1

$$A_s \min = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b w d_x = \frac{0,25 \sqrt{35}}{400} 500 \times 626 = 1157 \text{ mm}^2$$

$$A_s \min = \frac{1,4}{f_y} b w d_x = \frac{1,4}{400} 500 \times 626 = 1096 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai} = 3039,52 \text{ mm}^2 > A_s \min \text{ (Memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan lentur 8D22

Dipakai 2 Lapis: (6D22 + 2D22)

• Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{A_s}{b \times dx} = \frac{n \times A_s D22}{b \times dx} = \frac{8 \times 379,94}{500 \times 626} = 0,00971 > \rho_{\text{perlu}} = 0,00943$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times b \times f_c'} = \frac{(n \times A_s D22) \times f_y}{0,85 \times b \times f_c'} = \frac{3039,52 \times 400}{0,85 \times 500 \times 35} = 81,73 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \phi \times A_s \times f_y \left(dx - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 3039,52 \times 400 \left(626 - \frac{81,73}{2} \right) \\ &= 569,13 \text{ kNm} > M_u = 553,6226 \text{ kNm} \dots\dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

• Cek Penampang *Tension Controlled*

$$\frac{a}{dx} = \frac{81,73}{626} = 0,131$$

$$\frac{c}{dx} = 0,375 \times \beta_1 = 0,375 \times 0,81 = 0,305$$

Maka, $a/dt < c/dt$

(Memenuhi untuk desain tulangan under *reinforced*)

Digunakan **8 D22 mm** ($A_s = 3039,52 \text{ mm}^2$)

Dipasang 2 lapis (6D22 + 2D22)

➤ **Kondisi 2, Kolom eksterior kanan momen positif tumpuan, goyangan ke kiri.**

$$M_u = 279,8787 \text{ kNm}$$

$$M_u = 279878700 \text{ Nmm}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.2 bahwa kekuatan momen positif yang disediakan pada muka *joint* tidak kurang dari $\frac{1}{2}$ kekuatan momen negatif.

Mu kondisi 2 $> \frac{1}{2}$ Mu negatif kondisi 1

$$279,8787 \text{ kNm} > \frac{1}{2} \times 569,13 \text{ kNm}$$

$$279,8787 \text{ kNm} < 284,564 \text{ kNm}$$

$$\text{Maka dipakai Mu kondisi 1} = 284,564 \text{ kNm}$$

$$= 284563511,9 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{0,8 \times b \times d x^2} = \frac{284563511,9}{0,8 \times 500 \times 626^2} = 1,815$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 1,815}{400}} \right) = 0,00469 \end{aligned}$$

Syarat: $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,00350 < 0,00469 < 0,0273 \text{ (**Memenuhi**)}$$

dipakai $\rho_{\text{perlu}} = 0,00469$ sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= \rho \times b \times d x \\ &= 0,00469 \times 500 \times 626 = 1466,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_s D22} \\ &= \frac{1466,75}{379,94} = 3,860 \approx 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, } A_s \text{ pakai} &= \text{Jumlah tulangan per meter} \times A_s D22 \\ &= 4 \times 379,94 \\ &= 1519,76 \text{ mm}^2 \\ &= 1519,76 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 1466,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Cek Syarat Minimum Tulangan

Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1

$$A_s \text{ min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b w d x = \frac{0,25 \sqrt{35}}{400} 500 \times 626 = 1157 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min} = \frac{1,4}{f_y} b w d x = \frac{1,4}{400} 500 \times 626 = 1096 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai} = 1519,76 \text{ mm}^2 > A_s \text{ min (Memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan lentur 4D22

Dipakai 1 Lapis: (4D22)

• Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{A_s}{b \times dx} = \frac{n \times As_{D22}}{b \times dx} = \frac{4 \times 379,94}{500 \times 626} = 0,00486 > \rho_{perlu} = 0,00469$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times b \times f_{c'}} = \frac{(n \times As_{D22}) \times f_y}{0,85 \times b \times f_{c'}} = \frac{1519,76 \times 400}{0,85 \times 500 \times 35} = 40,87 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \phi \times A_s \times f_y \left(dx - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 1519,76 \times 400 \left(626 - \frac{40,87}{2} \right) \\ &= 294,50 \text{ kNm} > M_u = 284,564 \text{ kNm} \dots\dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

• Cek Penampang *Tension Controlled*

$$\frac{a}{dx} = \frac{40,87}{626} = 0,065$$

$$\frac{c}{dx} = 0,375 \times \beta_1 = 0,375 \times 0,81 = 0,305$$

Maka, $a/dt < c/dt$

(Memenuhi untuk desain tulangan under *reinforced*)

Digunakan **4 D22 mm** ($A_s = 1519,76 \text{ mm}^2$)

Dipasang 1 lapis (4D22)

➤ **Kondisi 3, Kolom interior kiri momen negatif tumpuan, goyangan ke kiri.**

$$M_u = 528,6219 \text{ kNm}$$

$$M_u = 528621900 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{0,8 \times b \times dx^2} = \frac{528621900}{0,8 \times 500 \times 626^2} = 3,3724$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 3,3724}{400}} \right) = 0,008972\end{aligned}$$

Syarat: $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,00350 < 0,008972 < 0,0273 \text{ (**Memenuhi**)}$$

dipakai $\rho_{\text{perlu}} = 0,008972$ sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned}A_{s\text{perlu}} &= \rho \times b \times d_x \\ &= 0,008972 \times 500 \times 626 = 2808,27 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{sD22}} \\ &= \frac{2808,27}{379,94} = 7,391 \approx 8 \text{ buah}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Sehingga, } A_s \text{ pakai} &= \text{Jumlah tulangan per meter} \times A_{sD22} \\ &= 8 \times 379,94 \\ &= 3039,52 \text{ mm}^2 \\ &= 3039,52 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 2808,27 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Cek Syarat Minimum Tulangan

Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1

$$A_s \min = \frac{0,25 \sqrt{f'c'}}{f_y} b w d_x = \frac{0,25 \sqrt{35}}{400} 500 \times 626 = 1157 \text{ mm}^2$$

$$A_s \min = \frac{1,4}{f_y} b w d_x = \frac{1,4}{400} 500 \times 626 = 1096 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai} = 3039,52 \text{ mm}^2 > A_s \min \text{ (Memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan lentur 8D22

Dipakai 2 Lapis: (6D22 + 2D22)

- Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{A_s}{b \times dx} = \frac{n \times A_s D22}{b \times dx} = \frac{8 \times 379,94}{500 \times 626} = 0,00971 > \rho_{\text{perlu}} = 0,008972$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times b \times f_{c'}} = \frac{(n \times A_s D22) \times f_y}{0,85 \times b \times f_{c'}} = \frac{3039,52 \times 400}{0,85 \times 500 \times 35} = 81,73 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \phi \times A_s \times f_y \left(dx - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 3039,52 \times 400 \left(626 - \frac{81,73}{2} \right) \\ &= 569,13 \text{ kNm} > M_u = 528,6219 \text{ kNm} \dots\dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

- Cek Penampang *Tension Controlled*

$$\frac{a}{dx} = \frac{81,73}{626} = 0,131$$

$$\frac{c}{dx} = 0,375 \times \beta_1 = 0,375 \times 0,81 = 0,305$$

Maka, $a/dt < c/dt$

(Memenuhi untuk desain tulangan under *reinforced*)

Digunakan **8 D22 mm** ($A_s = 3039,52 \text{ mm}^2$)

Dipasang 2 lapis (6D22 + 2D22)

➤ **Kondisi 4, Kolom eksterior kiri momen positif tumpuan, goyangan ke kanan.**

$$M_u = 308,0310 \text{ kNm}$$

$$M_u = 308031000 \text{ Nmm}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.2 bahwa kekuatan momen positif yang disediakan pada muka *joint* tidak kurang dari $\frac{1}{2}$ kekuatan momen negatif.

Mu kondisi 4 $> \frac{1}{2}$ Mu negatif kondisi 3

$$308,0310 \text{ kNm} > \frac{1}{2} \times 569,13 \text{ kNm}$$

$$308,0310 \text{ kNm} > 284,564 \text{ kNm}$$

Maka dipakai Mu kondisi 4 = 308,0310 kNm

$$= 308031000 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{0,8 \times b \times d x^2} = \frac{308031000}{0,8 \times 500 \times 626^2} = 1,9651$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 1,9651}{400}} \right) = 0,00509 \end{aligned}$$

Syarat: $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,00350 < 0,00509 < 0,0273 \text{ (**Memenuhi**)}$$

dipakai $\rho_{\text{perlu}} = 0,00509$ sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= \rho \times b \times d x \\ &= 0,00509 \times 500 \times 626 = 1592,14 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_s D22} \\ &= \frac{1592,14}{379,94} = 4,191 \approx 5 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, } A_s \text{ pakai} &= \text{Jumlah tulangan per meter} \times A_s D22 \\ &= 5 \times 379,94 \\ &= 1899,70 \text{ mm}^2 \\ &= 1899,70 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 1592,14 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Cek Syarat Minimum Tulangan

Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1

$$A_s \text{ min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b w d x = \frac{0,25 \sqrt{35}}{400} 500 \times 626 = 1157 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min} = \frac{1,4}{f_y} b w d x = \frac{1,4}{400} 500 \times 626 = 1096 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai} = 1899,70 \text{ mm}^2 > A_s \text{ min (Memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan lentur 8D22

Dipakai 1 Lapis: (5D22)

• Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d_x} = \frac{n \times A_{sD22}}{b \times d_x} = \frac{5 \times 379,94}{500 \times 626} = 0,00607 > \rho_{perlu} = 0,00509$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times b \times f_{c'}} = \frac{(n \times A_{sD22}) \times f_y}{0,85 \times b \times f_{c'}} = \frac{1899,70 \times 400}{0,85 \times 500 \times 35} = 51,08 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \phi \times A_s \times f_y \left(d_x - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 1899,70 \times 400 \left(626 - \frac{51,08}{2} \right) \\ &= 365,02 \text{ kNm} > M_u = 308,031 \text{ kNm} \dots\dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

• Cek Penampang *Tension Controlled*

$$\frac{a}{d_x} = \frac{51,08}{626} = 0,082$$

$$\frac{c}{d_x} = 0,375 \times \beta_1 = 0,375 \times 0,81 = 0,305$$

Maka, $a/d_t < c/d_t$

(Memenuhi untuk desain tulangan under *reinforced*)

Digunakan **5 D22 mm** ($A_s = 1899,70 \text{ mm}^2$)

Dipasang 1 lapis (5D22)

➤ **Kondisi 5, tengah bentang, momen positif, goyangan kanan dan kiri.**

$$M_u = 100,0401 \text{ kNm}$$

$$M_u = 100040100 \text{ Nmm}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.2 baik kekuatan momen negatif maupun momen positif sepanjang komponen struktur tidak kurang dari $\frac{1}{4}$ kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu *joint* tersebut.

Mu kondisi 5 $> \frac{1}{4}$ Mu negatif kondisi 1

$$100,0401 \text{ kNm} > \frac{1}{4} \times 569,13 \text{ kNm}$$

$$100,0401 \text{ kNm} > 142,282 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka dipakai } M_u \text{ kondisi 5} &= 142,282 \text{ kNm} \\ &= 142281755,9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_n}{0,8 \times b \times d x^2} = \frac{142281755,9}{0,8 \times 500 \times 626^2} = 0,9077$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 0,9077}{400}} \right) = 0,00230 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,00350 > 0,00230 < 0,0273 \text{ (**Tidak Memenuhi**)}$$

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 10.5 (3) sebagai alternatif, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

Maka ρ diperbesar 30% $\times \rho = 1,3 \times 0,00230 = 0,003$

dipakai $\rho = 0,003$, sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= \rho \times b \times d x \\ &= 0,003 \times 500 \times 626 = 937,89 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{sD22}} \\ &= \frac{937,89}{379,94} = 2,469 \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, } A_s \text{ pakai} &= \text{Jumlah tulangan per meter} \times A_{sD22} \\ &= 3 \times 379,94 \\ &= 1139,82 \text{ mm}^2 \\ &= 1139,82 \text{ mm}^2 > A_{s\text{perlu}} = 937,89 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Cek Syarat Minimum Tulangan

Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1

$$As_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f_{c'}}}{f_y} b w d x = \frac{0,25 \sqrt{35}}{400} 500 \times 626 = 1157 \text{ mm}^2$$

$$As_{min} = \frac{1,4}{f_y} b w d x = \frac{1,4}{400} 500 \times 626 = 1096 \text{ mm}^2$$

$$As_{pakai} = 1139,82 \text{ mm}^2 > As_{min} \text{ (Memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan lentur 3D22

Dipakai 1 Lapis: (3D22) untuk momen positif tengah bentang dan

Dipakai 1 Lapis: (2D22) untuk momen negatif tengah bentang

- Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{As}{b \times d x} = \frac{n \times As_{D22}}{b \times d x} = \frac{3 \times 379,94}{500 \times 626} = 0,00364 > \rho_{perlu} = 0,00437$$

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times b \times f_{c'}} = \frac{(n \times As_{D22}) \times f_y}{0,85 \times b \times f_{c'}} = \frac{1139,82 \times 400}{0,85 \times 500 \times 35} = 30,65 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \phi \times As \times f_y \left(d x - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 1139,82 \times 400 \left(626 - \frac{30,65}{2} \right) \\ &= 222,74 \text{ kNm} > M_u = 142,282 \text{ kNm} \dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

- Cek Penampang *Tension Controlled*

$$\frac{a}{d x} = \frac{30,65}{626} = 0,049$$

$$\frac{c}{d x} = 0,375 \times \beta_1 = 0,375 \times 0,81 = 0,305$$

Maka, $a/dt < c/dt$

(Memenuhi untuk desain tulangan under *reinforced*)

Digunakan **3 D22 mm** ($As = 1139,82 \text{ mm}^2$)

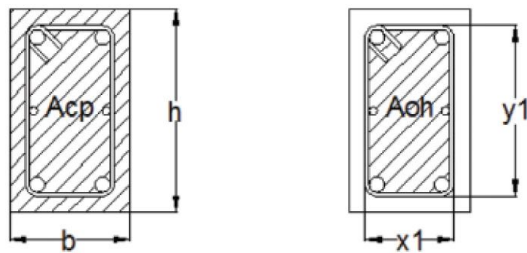
Dipasang 1 lapis (3D22) untuk momen positif tengah bentang

Dipasang 1 lapis (2D22) untuk momen negatif tengah bentang

f) Penulangan Puntir Akibat Torsi

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir.

Ukuran penampang balok yang dipakai = 50/70



Gambar 4. 49 Luasan A_{cp} dan P_{cp}

- ❖ Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{\text{balok}} \times h_{\text{balok}} \\ &= 500 \text{ mm} \times 700 \text{ mm} \\ &= 350000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- ❖ Perimeter luar irisan penampang beton A_{cp}

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{\text{balok}} + h_{\text{balok}}) \\ &= 2 \times (500 \text{ mm} + 700 \text{ mm}) \\ &= 2400 \text{ mm} \end{aligned}$$

- ❖ Luas Penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{\text{balok}} - 2 t_{\text{decking}} - \phi_{\text{geser}}) \times \\ &\quad (h_{\text{balok}} - 2 t_{\text{decking}} - \phi_{\text{geser}}) \\ &= (500 \text{ mm} - 2 \times 50 \text{ mm} - 13 \text{ mm}) \times \\ &\quad (700 \text{ mm} - 2 \times 50 \text{ mm} - 13 \text{ mm}) \\ &= 227169 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

❖ Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 \times [(b_{\text{balok}} - 2 t_{\text{decking}} - \phi_{\text{geser}}) + \\
 &\quad (h_{\text{balok}} - 2 t_{\text{decking}} - \phi_{\text{geser}})] \\
 &= 2 \times [(500 \text{ mm} - 2 \times 50 \text{ mm} - 13 \text{ mm}) + \\
 &\quad (700 \text{ mm} - 2 \times 50 \text{ mm} - 13 \text{ mm})] \\
 &= 1948 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada SAP 2000 v14 diperoleh momen puntir terbesar:

Momen Puntir Ultimate

Akibat Kombinasi 1,32 D + 0,39 Ex + 1,3 Ey + 1,0 L:

$$T_u = 46,1029 \text{ kNm}$$

Momen Puntir Nominal

$$T_n = \frac{T_u}{\phi}$$

$$T_n = \frac{46,1029}{0,75}$$

$$T_n = 61,471 \text{ kNm}$$

Pengaruh puntir diabaikan apabila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang dari pada: (SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.1)

$$\begin{aligned}
 T_u \text{ min} &= \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right) \\
 &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{35} \left(\frac{350000^2}{2400} \right) \\
 &= 18797419,12 \text{ Nmm} \\
 &= 18,797 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum T_u dapat diambil sebesar: (SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.1)

$$\begin{aligned}
 T_u \text{ max} &= \phi 0,33 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right) \\
 &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{35} \left(\frac{350000^2}{2400} \right) \\
 &= 74736726,63 \text{ Nmm} \\
 &= 74,737 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

- Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat:

- $T_u \min > T_u$ (tidak memerlukan tulangan puntir)
- $T_u \min < T_u$ (memerlukan tulangan puntir)

$$T_u \min < T_u > T_u \max$$

$$18,797 \text{ kNm} < 46,1029 \text{ kNm} < 74,737 \text{ kNm}$$

(Memerlukan Tulangan Puntir)

Jadi, penampang balok memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang.

- Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut:

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{35} \times 400 \times 626 \\ &= 314794,605 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0,66 \sqrt{f'_c} \right) \\ &\sqrt{\left(\frac{221156}{500 \times 636}\right)^2 + \left(\frac{46102900 \times 1948}{1,7 \times (227169)^2}\right)^2} \\ &\leq 0,75 \left(\frac{314794,605}{500 \times 636} + 0,66 \sqrt{35} \right) \\ &1,244 \leq 3,683 \text{ (Memenuhi)} \end{aligned}$$

Maka, penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir.

- Tulangan Puntir untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.7 direncanakan berdasarkan persamaan berikut:

$$A_l = \frac{At}{s} P_h \left(\frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \phi$$

Dengan $\frac{At}{s}$ dihitung sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.6 berasal dari persamaan di bawah ini:

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times At \times F_{yt}}{s} \cot \phi$$

Untuk beton non prategang $\phi = 45^\circ$

$$\begin{aligned} \text{Dimana, } A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 227169 \text{ mm}^2 \\ &= 193093,65 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{At}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \times \cot \phi} \\ &= \frac{61,471 \times 10^6}{2 \times 193093,65 \times 400 \times \cot 45} \\ &= 0,645 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tetapi $\frac{At}{s}$ tidak boleh kurang dari:

$$\frac{At}{s} = \frac{0,175 bw}{F_{yt}} = \frac{0,175 \times 500}{400} = 0,219 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan puntir untuk lentur:

$$A_l = \frac{At}{s} P_h \left(\frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \phi$$

$$\begin{aligned} A_l &= 0,645 \times 1948 \times \left(\frac{400}{240} \right) \cot^2 45 \\ &= 797,613 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tetapi Al tidak boleh kurang dari:

$$Al \min = \frac{0,42 \sqrt{f'c} Acp}{F_{yt}} - \left(\frac{At}{s} \times Ph \times \frac{F_{yv}}{F_{yt}} \right)$$

$$Al \min = \frac{0,42 \sqrt{35} 350000}{400} - \left(0,219 \times 1948 \times \frac{240}{400} \right)$$

$$Al \min = 1918,484 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan puntir perlu sebesar 1918,484 mm². Untuk arah memanjang dibagi rata keempat sisi penampang balok.

$$\frac{At}{4} = \frac{1918,484}{4} = 479,621 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan longitudinal:

Pada sisi atas - disalurkan ½ pada tulangan tarik balok Pada sisi bawah – disalurkan ½ pada tulangan tekan balok Maka masing-masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar 479,621 mm²

Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$n = \frac{As}{\frac{Luasan D \text{ puntir}}{479,621}}$$

$$n = \frac{As}{0,25 \pi 13^2}$$

$$n = 3,615 \approx 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan puntir 4D13

$$As = n \times Luasan D \text{ puntir}$$

$$= 4 \times 0,25 \pi 13^2$$

$$= 530,66 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

$$As \text{ pasang} \geq As \text{ perlu}$$

$$530,66 \text{ mm}^2 \geq 479,621 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

g) Hitung Momen Probable Capacities (Mpr)

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 21.5.4.1 mengisyaratkan bahwa geser rencana akibat gempa pada balok dihitung dengan mengasumsikan sendi plastis terbentuk di ujung-ujung balok dengan tegangan tulangan lentur mencapai 1,25 fy serta koefisien lentur 1.

Tabel 4. 40 Kapasitas Momen Nominal Balok B1

Kondisi	Lokasi	Arah Goyangan	As Pakai (mm ²)	Mn (kNm)
1	Ujung Interior Kanan (negatif)	Kanan	3039.52	569.13
2	Ujung Eksterior Kanan (positif)	Kiri	1519.76	294.50
3	Ujung Interior Kiri (negatif)	Kiri	3039.52	569.13
4	Ujung Eksterior Kiri (positif)	Kanan	1899.70	365.02
5	Tengah Bentang (positif)	Kanan dan Kiri	1139.82	222.74

- Kapasitas momen ujung-ujung balok bila struktur bergoyang ke kanan.

Kondisi 1:

$$\alpha_{pr-1} = \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{1,25 \times 3039,52 \times 400}{0,25 \times 35 \times 500} = 102,169 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = 1,25 \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{\alpha_{pr-1}}{2} \right)$$

$$\phi M_n = 1,25 \times 3039.52 \times 400 \times \left(626 - \frac{102,169}{2} \right)$$

$$\phi M_n = 873,734 \text{ kNm}$$

(searah jarum jam di muka kolom interior)

Kondisi 2:

$$\alpha_{pr-1} = \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{1,25 \times 1519,76 \times 400}{0,25 \times 35 \times 500} = 51,084 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = 1,25 \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{\alpha_{pr-1}}{2} \right)$$

$$\phi M_n = 1,25 \times 1519,76 \times 400 \times \left(626 - \frac{51,084}{2} \right)$$

$$\phi M_n = 456,276 \text{ kNm}$$

(searah jarum jam di muka kolom eksterior)

Kondisi 3:

$$\alpha_{pr-1} = \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{1,25 \times 3039,52 \times 400}{0,25 \times 35 \times 500} = 102,169 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = 1,25 \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{\alpha_{pr-1}}{2} \right)$$

$$\phi M_n = 1,25 \times 3039,52 \times 400 \times \left(626 - \frac{102,169}{2} \right)$$

$$\phi M_n = 873,734 \text{ kNm}$$

(searah jarum jam di muka kolom interior)

Kondisi 4:

$$\alpha_{pr-1} = \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{1,25 \times 1899,70 \times 400}{0,25 \times 35 \times 500} = 63,855 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = 1,25 \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{\alpha_{pr-1}}{2} \right)$$

$$\phi M_n = 1,25 \times 1899,70 \times 400 \times \left(626 - \frac{63,855}{2} \right)$$

$$\phi M_n = 564,280 \text{ kNm}$$

(searah jarum jam di muka kolom eksterior)





h) Diagram Geser

Reaksi gaya geser di ujung kanan dan kiri balok akibat gaya gravitasi yang bekerja pada struktur diambil gaya geser kritis dari hasil output SAP 2000 v14 dengan kombinasi 1,32 D + 0,39 Ex + 1,3 Ey + 1,0 L:

$$V_g = \frac{W_u L_n}{2} = 221,156 \text{ kN}$$

$$W_u = \frac{V_g \times 2}{L_n} = \frac{221,156 \times 2}{6.4} = 69,111 \text{ kN/m}$$

Tabel 4. 41 Konfigurasi Penulangan dan Kapasitas Momen Nominal

Kondisi	Lokasi	Arah Goyangan	As Pakai (mm ²)	Mn (kNm)	Mpr (kNm)
1	Ujung Interior Kanan (negatif)	Kanan	3039.52	569.13	873,734 
2	Ujung Eksterior Kanan (positif)	Kiri	1519.76	294.50	456,276 
3	Ujung Interior Kiri (negatif)	Kiri	3039.52	569.13	873,734 
4	Ujung Eksterior Kiri (positif)	Kanan	1899.70	365.02	564,280 

- Struktur bergoyang ke kanan.

$$\begin{aligned}
 V_{\text{sway-ka}} &= \frac{M_{pr-1} + M_{pr-2}}{L_n} \\
 &= \frac{873,734 + 456,276}{6,4} \\
 &= 207,814 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Total reaksi geser di ujung interior balok:

$$\begin{aligned}
 &= V_{\text{sway-ka}} + V_g \\
 &= 207,814 \text{ kN} + 221,156 \text{ kN} \\
 &= 428,970 \text{ kN} \quad \uparrow
 \end{aligned}$$

Total reaksi geser di ujung eksterior balok:

$$\begin{aligned}
 &= V_{\text{sway-ka}} - V_g \\
 &= 207,814 \text{ kN} - 221,156 \text{ kN} \\
 &= 13,342 \text{ kN} \quad \downarrow
 \end{aligned}$$

- Struktur bergoyang ke kiri.

$$\begin{aligned}
 V_{\text{sway-ka}} &= \frac{M_{pr-3} + M_{pr-4}}{Ln} \\
 &= \frac{873,734 + 564,280}{6,4} \\
 &= 224,690 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Total reaksi geser di ujung interior balok:

$$\begin{aligned}
 &= V_{\text{sway-ka}} + V_g \\
 &= 224,690 \text{ kN} + 221,156 \text{ kN} \\
 &= 445,846 \text{ kN} \quad \uparrow
 \end{aligned}$$

Total reaksi geser di ujung eksterior balok:

$$\begin{aligned}
 &= V_{\text{sway-ka}} - V_g \\
 &= 224,690 \text{ kN} - 221,156 \text{ kN} \\
 &= 3,534 \text{ kN} \quad \uparrow
 \end{aligned}$$

i) Sengkang untuk Geser

Berdasarkan peraturan SNI 2847-2013 Pasal 21.5.4.2, kontribusi beton dalam menahan geser, yaitu V_c harus diambil = 0 pada perencanaan geser di daerah sendi plastis apabila:

- $V_{sway} > \frac{1}{2} V_u$ terjadi
 $224,690 \text{ kN} > \frac{1}{2} \times 221,156 \text{ kN}$
 $224,690 \text{ kN} > 110,578 \text{ kN}$
- Gaya tekan aksial terfaktor, termasuk akibat pembebanan gempa kurang dari $A_f \cdot f_c' / 20$

$$P < \frac{A_g \times f_c'}{20}$$

$$15,439 \text{ kN} < 612,5 \text{ kN}$$

Dengan demikian, $V_c = 0$ disepanjang zona sendi plastis.

Gaya geser maksimum (V_u) = 445,846 kN

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{445,846}{0,75} - 0 = 594,461 \text{ kN}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.4.7.9

$$\begin{aligned} V_s \text{ max} &= 0,66 \sqrt{f_c'} \text{ bw d} \\ &= 0,66 \times \sqrt{35} \times 500 \times 626 \\ &= 1222,144 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_s = 594,461 \text{ kN} < V_s \text{ max} = 1222,144 \text{ kN} \text{ (Memenuhi)}$$

Nilai tulangan: (SNI 03-2847-2013 Pasal 11.4.7.2)

Dicoba sengkang 2 kaki D13 ($A_v = 265,33 \text{ mm}^2$)

$$s = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{265,33 \times 400 \times 626}{594,461 \times 1000} = 111,76 \approx 100 \text{ mm}$$

Maka dipasang 2 kaki D13 – 100 mm

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = \frac{265,33 \times 400 \times 626}{100 \times 1000} = 664,386 \text{ kN}$$

$$V_s = 664,386 \text{ kN} > 594,461 \text{ kN} \text{ (Memenuhi)}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 21.5.3.1, diperlukan hoops (sengkang tertutup) di sepanjang jarak dari sisi (muka) kolom tersebut pada daerah sendi plastis.

$$2 \times h = 2 \times 700 = 1400 \text{ mm}$$

Berdasarkan peraturan SNI 2847-2013 Pasal 21.5.3.2, hook dipasang pada jarak 50 mm dari muka kolom terdekat, dan berikutnya dipasang dengan spasi yang terkecil antara:

- $d/4 = 626/4 = 156,5 \text{ mm}$
- $6 \times db = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$
- 150 mm

Tetapi tidak boleh kurang dari 100 mm, sehingga tulangan hoop di daerah sendi plastis sepanjang 1400 mm dipasang sengkang tertutup 2 kaki D13 – 100 mm.

Luar Zona Sendi Plastis

Gaya geser maksimum, V_u di luar zona sendi plastis 2 h (1400 mm) adalah:

$$V_u = 445,846 - (W_u \times 2h)$$

$$V_u = 445,846 - (69,111 \text{ kN/m} \times 1,4 \text{ m})$$

$$V_u = 349,090 \text{ kN}$$

Pada zona ini, kontribusi V_c dipertimbangkan.

Berdasarkan peraturan SNI 2847-2013 Pasal 11.2.1.1, nilai V_c adalah:

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{35} \times 400 \times 626 \\ &= 314,795 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{349,090}{0,75} - 314,795 = 150,659 \text{ kN}$$

Dicoba sengkang 2 kaki D13 ($A_v = 265,33 \text{ mm}^2$)

$$s = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{265,33 \times 400 \times 626}{150,659 \times 1000} = 440,99 \approx 400 \text{ mm}$$

Maka dipasang 2 kaki D13 – 400 mm

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = \frac{265,33 \times 400 \times 626}{400 \times 1000} = 166,097 \text{ kN}$$

$$V_s = 166,097 \text{ kN} > 150,659 \text{ kN} \text{ (Memenuhi)}$$

Berdasarkan peraturan SNI 2847-2013 Pasal 21.5.3.4, spasi maksimal tulangan geser adalah $d/2 = 626/2 = 313$ mm
 Dari perhitungan diatas, bentang di luar zona sendi plastis digunakan sengkang 2 kaki D13 – 300 mm

j) Lap Splice untuk Bentang menerus

Berdasarkan peraturan SNI 2847-2013 Pasal 21.5.2.1, sedikitnya harus ada 2 tulangan atas dan bawah yang dibuat secara menerus. Sesuai perhitungan tulangan lentur terpasang adalah lebih dari 2D22. Maka sudah terpenuhi syarat ini.

Berdasarkan peraturan SNI 2847-2013 Pasal 7.10.4.5, nilai sambungan lewatan atas kelas A untuk baja ulir:

$$L_d = 48 d_b = 48 \times 22 = 1056 \text{ mm}$$

Tetapi berdasarkan peraturan SNI 2847-2013 Pasal 21.7.5.1, panjang penyaluran tidak kurang dari nilai berikut:

- $l_{dh} = \frac{f_y \times d_b}{5,4 \sqrt{f_c'}} = \frac{400 \times 22}{5,4 \sqrt{35}} = 275,458 \text{ mm}$
- $8 d_b = 8 \times 22 = 176 \text{ mm}$
- 150 mm

Maka sambungan lewatan diambil 1100 mm

Berdasarkan peraturan SNI 2847-2013 Pasal 21.5.2.3, baja tulangan yang disalurkan harus diikat dengan hoops yang dipasang dengan spasi maksimum, yaitu yang terkecil antara $d/4$ dan 100 mm.

$$d/4 = 626/4 = 156,5 \text{ mm}$$

Maka spasi hoops didaerah penyambungan lewatan tulangan = 100 mm

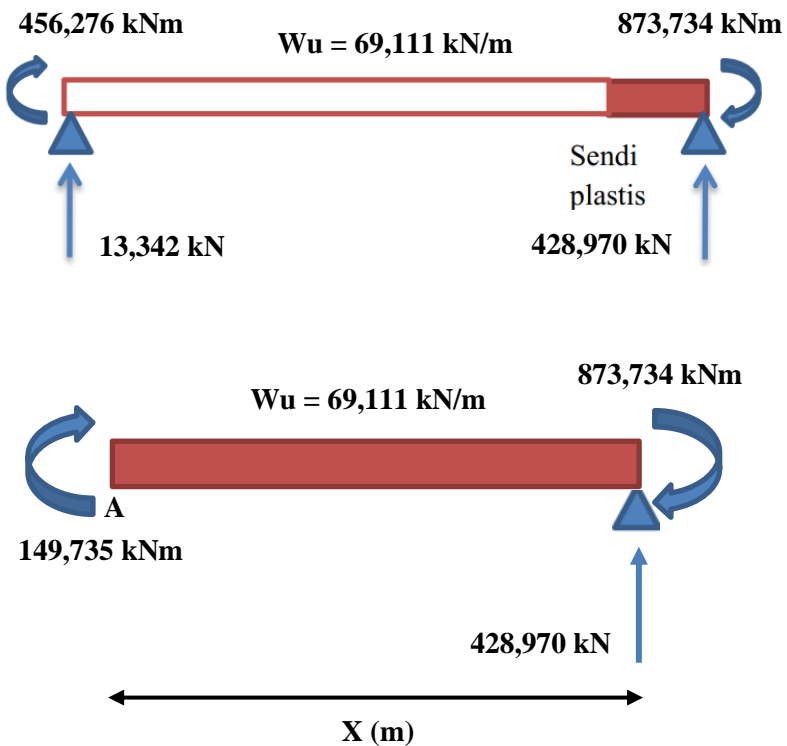
k) Cut Off Point

Jumlah tulangan terpasang adalah 2 lapis (6D22 + 2D22). 2 buah tulangan lapis akan dibuat menerus disepanjang balok. Sehingga A_s sisa = $759,88 \text{ mm}^2$

$$\alpha = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{759,88 \times 400}{0,85 \times 35 \times 500} = 20,434 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \left(dx - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,8 \times 759,88 \times 400 \left(626 - \frac{20,434}{2} \right) \\
 &= 149,735 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Untuk mengetahui lokasi momen 149,735 kNm pada penampang balok, dibuat sketsa sebagai berikut:



Gambar 4. 50 Sketsa Lokasi Penampang Momen yang Ditinjau

Diambil penjumlahan momen di titik A untuk menentukan nilai x:

$$69,111 \times (1/2X) - 428,970X + (873,734 - 149,735) = 0$$

$$34,556X^2 - 428,970X + 723,999 = 0$$

$$X_1 = 2,00 \text{ m} ; X_2 = 10,40 \text{ m}$$

Maka diambil *cut off point* sejarak 2,0 m, baik dari muka kolom interior ataupun eksterior.

Berdasarkan peraturan SNI 2847-2013 Pasal 12.2.2, untuk D22 panjang penyaluran adalah:

$$l_{d-22} = \frac{f_y \times \Psi_t \times \Psi_e}{1,1 \times \lambda \times \sqrt{f_c'}} \times db = \frac{400 \times 1,3 \times 1}{1,1 \times 1 \times \sqrt{35}} \times 22 = 1757,921 \text{ mm}$$

Maka diambil 1800 mm.

Berdasarkan peraturan SNI 2847-2013 Pasal 12.12.3, mengharuskan setidaknya 1/3 tulangan tarik momen negatif pada tumpuan harus ditanam melewati titik balok tidak kurang dari d, 12db, ln/16.

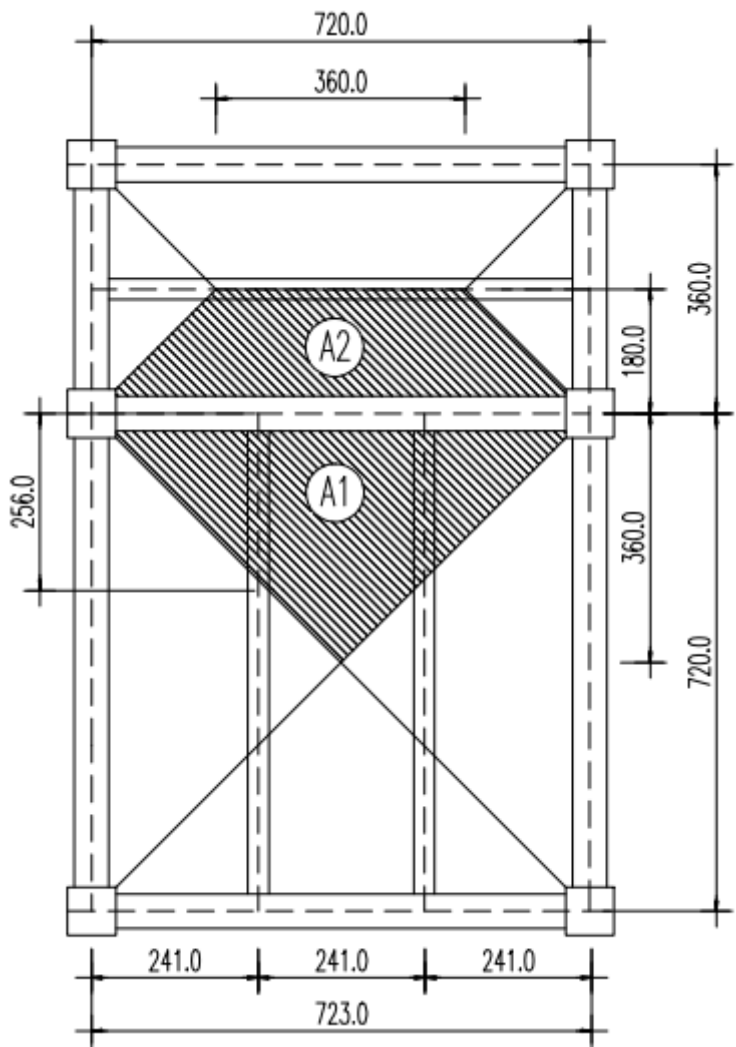
Jadi 6D22 harus ditanam sepanjang yang terbesar diantara:

- $2000 + d = 2000 + 626 = 2626 \text{ mm}$
- $2000 + 12db = 2000 + (12 \times 22) = 2264 \text{ mm}$
- $l_{d-22} = 1800 \text{ mm}$
- $2000 + ln/16 = 2000 + \frac{6400}{16} = 2400 \text{ mm}$

Maka tulangan 8D22 ditanamkan sejauh 2700 mm dari muka kolom interior dan eksterior.

1) Cek Lendutan

Pengaruh defleksi lateral akibat beban layan akan diperhitungkan berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 8.8 dan 9.5.2.3.



Gambar 4. 51 Luas Tributary Area untuk Menghitung
Pembebanan Balok Induk B1

$$A1 = \frac{7,2 \times 3,6}{2} = 12,96 \text{ m}^2$$

$$A2 = \frac{(7,2 + 3,6) \times 1,8}{2} = 9,72 \text{ m}^2$$

$$A \text{ total} = A1 + A2 = 22,68 \text{ m}^2$$

Bentang balok (ln) = 7,2 m

1) Beban mati tidak terfaktor (per satuan panjang):

- Berat sendiri pelat = $0,14 \text{ m} \times 2360 \text{ kg/m}^3$
= 330,4 kg/m²
- Dinding CITICON® = 378 kg/m
- Plafond = 5 kg/m²
- Penggantung = 10 kg/m²
- Keramik + Spesi = 110 kg/m²
- Sanitasi = 20 kg/m²
- *Mechanical Ducting* = 19 kg/m² +
qD = 872,4 kg/m²

- Berat sendiri balok induk = $(0,5 \times 0,7) \text{ m}^2 \times 2360 \text{ kg/m}^3$
= 826 kg/m

$$\begin{aligned} \text{WD} &= [872,4 \times (22,68 / 7,2 \text{ m})] + 826 \\ &= 3574,06 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

- Berat sendiri balok anak:
= $(2,56 \text{ m} + 2,56 \text{ m} + 3,6 \text{ m}) \times 0,3 \text{ m} \times 0,36 \text{ m} \times 2360$
= 3086,88 kg

2) Beban hidup tidak terfaktor (per satuan panjang):

$$\begin{aligned} \text{Beban hidup lantai} &= 192 \text{ kg/m}^2 \\ \text{qL} &= 192 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{WL} = 192 \times (22,68 / 7,2 \text{ m}) = 604,80 \text{ kg/m}$$

3) Kombinasi beban layan 1,0 DL + 1,0 LL:

$$\begin{aligned}
 W_{\text{layan}} &= 1,0 \text{ WD} + 1,0 \text{ WL} \\
 &= 3574,06 \text{ kg/m} + 640,80 \text{ kg/m} \\
 &= 4178,86 \text{ kg/m} \\
 P_{\text{layan}} &= 3086,88 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

4) Perhitungan momen

$$\begin{aligned}
 L_n &= 6400 \text{ mm} \\
 M_{uq} &= \frac{1}{16} \times 4178,86 \times 6400^2 = 106978816 \text{ Nmm} \\
 M_{up} &= \frac{1}{4} \times 3086,88 \times 6400 = 49390080 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.4 dimana akibat retak pada struktur, momen inersia penampang struktur lentur balok dapat direduksi sebesar 0,35 I_g

$$0,35 \times \left(\frac{1}{12} \times 500 \times 700^3 \right) = 5,002 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'c} = 27805,575 \text{ N/mm}^2$$

5) Lendutan terjadi

$$\begin{aligned}
 \Delta &= \left(\frac{5}{384} \times \frac{M_{uq} \times l_n^2}{EI} \right) + \left(\frac{1}{12} \times \frac{M_{up} \times l_n^2}{EI} \right) \\
 \Delta &= \left(\frac{5}{384} \times \frac{106978816 \times 6400^2}{27805,575 \times 5,002 \times 10^9} \right) + \\
 &\quad \left(\frac{1}{12} \times \frac{49390080 \times 6400^2}{27805,575 \times 5,002 \times 10^9} \right) \\
 \Delta &= 2,815 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Lendutan jangka panjang akibat rangkai dan susut
Faktor dan rangkai dan susut beton:

$$\lambda_{\Delta} = \frac{\xi}{1+50 p'}$$

Dimana:

$\xi = 2$ (faktor waktu pada gedung lebih dari 5 tahun)

$$p' = \frac{As \text{ tekan}}{b \times d} = \frac{1899,70}{500 \times 626} = 0,00607$$

$$\lambda_{\Delta} = \frac{2}{1 + 50 \times 0,00607} = 1,534 \text{ mm}$$

Lendutan terjadi akibat rangkai susut:

$$\begin{aligned} \Delta' &= \Delta \times \lambda_{\Delta} \\ &= 2,815 + 1,534 \\ &= 4,349 \text{ mm} \end{aligned}$$

Lendutan yang terjadi tidak boleh melebihi lendutan izin yang disyaratkan SNI 03-2847-2013 Pasal 9.5 (b)

$$\Delta_{ijin} = \frac{l}{360} = \frac{7200}{360} = 20 \text{ mm}$$

$$\Delta' < \Delta_{ijin}$$

$$4,349 \text{ mm} < 20 \text{ mm} \text{ (Memenuhi)}$$

m) Kontrol retak

Berdasarkan SNI-2847-2013 pasal 14.8.2.4 tulangan dari komponen struktur harus memberikan kekuatan desain

$$\phi M_n \geq M_{cr}$$

dimana M_{cr} harus diperoleh menggunakan modulus hancur, f_r , yang diberikan pada SNI-2847-2013 pasal 9.5.3.2

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t}$$

dan

$$f_r = 0,622 \sqrt{f_c'}$$

dimana:

M_{cr} = momen retak

f_r = modulus hancur beton

I_g = momen inersia penampang beton bruto

y_t = jarak dari sumbu pusat penampang bruto ke muka Tarik

λ = faktor modifikasi ($\lambda = 1,0$ untuk beton berat normal)

$$\begin{aligned} f_r &= 0,62 \times 1 \times \sqrt{35} \\ &= 3,668 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$I_g = \left(\frac{1}{12} \times 500 \times 700^3 \right) = 14291666666,67 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \frac{3,396 \times 14291666666,67}{350} \\ &= 149775419,842 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 2954500917,53 \text{ Nmm} \geq M_{cr} = 149775419,842 \text{ Nmm}$$

(Memenuhi)

4.4.2.5 Perhitungan Tulangan Angkat dan Strand

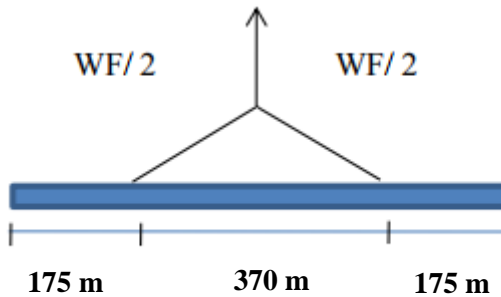
a) Perhitungan Tulangan Angkat

Beban Mati (DL):

$$\begin{aligned} \text{Balok } (0,5 \times 0,56 \times 7,20 \times 2360) &= 4757,760 \text{ kg} \\ \text{qDL} &= 4757,760 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban ultimate} &= 1,2 \text{ qDL} \times 1,2 \\ &= (1,2 \times 4757,760) \times 1,2 \\ &= 6851,17 \text{ kg} \end{aligned}$$

Sesuai *PCI Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete*, fig. 8.3.4. Terdapat 2 titik angkat dan terdapat sudut pengangkatan sebesar 45° sehingga harus dikalikan faktor $F = 1,41$



Gambar 4. 52 Letak Titik Pengangkatan

Gaya angkat (T_u) setiap tulangan (beban yang diterima 1 titik angkat):

$$P = Nn = \frac{W.F}{2} = \frac{6851,17}{2} \times 1,41 = 4830,08 \text{ kg}$$

Menurut SNI 2847-2013 pasal 10.6.4 untuk tegangan ijin dasar pada baja (f_s) diambil sebesar $2/3 f_y$.

$$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} 400 = 266,667 \text{ MPa} = 2666,67 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_s = \frac{P}{f_s} = \frac{4830,08 \text{ kg}}{2666,67 \text{ kg/cm}^2} = 1,811 \text{ cm}^2$$

Dicoba tulangan angkat $\emptyset 16 \text{ mm}$

$$A_s \text{ pakai} = 201,07 \text{ mm}^2 = 2,0107 \text{ cm}^2 > 1,811 \text{ cm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi dipakai tulangan angkat $\emptyset 16 \text{ mm}$

SNI 2847 2013 pada lampiran D dijelaskan bahwa dalam pendesainan tulangan angkur, tarik pada angkur harus lebih kecil dibanding kekuatan nominal.

- Tulangan angkur = 16 mm
- Jumlah angkur = 2 buah
- Faktor sling 60° = 1,16
- Faktor kejut = 1,5

$W' = \text{Beban ultimate} \times \text{Faktor sling } 60^\circ \times \text{Faktor kejut}$

$$W' = 6851,17 \text{ kg} \times 1,16 \times 1,5$$

$$W' = 11921,04 \text{ kg}$$

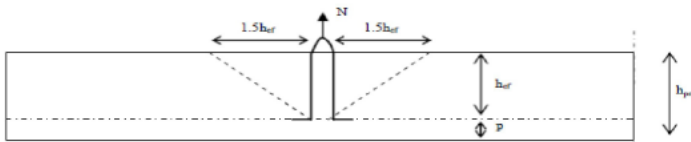
Dengan asumsi, jika setiap tulangan angkur dapat menerima beban total pada komponen pracetak, sehingga:

$$N_n = W / n = 11921,04 / 2 = 5960,522 \text{ kg} = 59605,22 \text{ N}$$

Menurut SNI 2847-2013 Lampiran D.5.2.2 kedalaman angkur dalam keadaan tarik ($k_c = 10$, angkur cor di dalam) maka:

$$h_{ef} = \sqrt[3]{\left(\frac{N_n}{k_c \sqrt{f_{cr}}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{59605,22}{10 \sqrt{35}}\right)^2} = 100,5 \text{ mm} \approx 105 \text{ mm}$$

Dari perhitungan tersebut maka tulangan angkat (angkur) dipasang sedalam 105 mm dari permukaan balok induk pracetak



Gambar 4. 53 Pengankuran Tulangan Angkat Pelat Pracetak
(PCI Precast and Prestressed Concrete 7th figure 6.5.1)

Panjang tulangan angkur setidaknya mencapai garis retak yang terjadi saat beton terjadi jebol (*breakout*) yang terbesar dari:

$$de = \frac{h_{ef}}{\tan 35^\circ} = \frac{50}{\tan 35^\circ} = 149,96 \text{ mm}$$

$$de = 1,5 h_{ef} = 1,5 \times 105 = 157,5 \text{ mm}$$

Maka digunakan $de = 157,5 \approx 160 \text{ mm}$

b) Menghitung Kebutuhan Strand

$P = 4830,08 \text{ kg}$ (beban 1 titik angkat)

Berdasarkan *PCI Handbook 6th Edition Precast and Prestressed Concrete* tabel *Design Aid 11.2.3 Properties and Design Strengths of Prestressing Strand and Wire*. Maka digunakan *Seven Wire Strand* dengan spesifikasi dibawah ini:

Diameter	= 1/4 in	= 6,35 mm
fpu	= 250 ksi	= 1724 MPa
A	= 0,036 in	= 23,36 mm ²
F strand	= $1724 \times 23,36 = 40272,64 \text{ kg}$	

Maka gaya yang dipikul 1 Strand = $40272,64 / 2$
= 20136,32 kg

Kontrol: $P < F \text{ strand}$

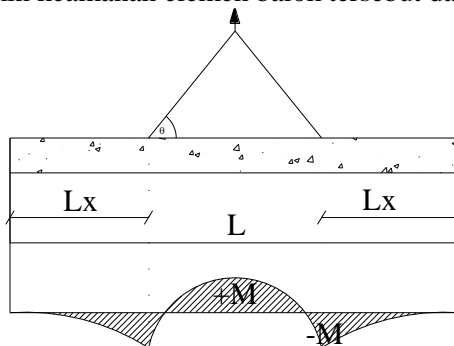
$4830,08 \text{ kg} < 20136,32 \text{ kg}$ (memenuhi)

Jadi dipakai *Seven Wire Strand* diameter 1/4 in (fpu = 250 ksi)

4.4.2.6 Kontrol Balok Pracetak

a) Kontrol Tulangan Angkat dan Tegangan Akibat Pengangkatan

Balok induk dibuat secara pracetak di pabrik. Elemen balok harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses pengangkatan. Titik pengangkatan dan kekuatan tulangan angkat harus menjamin keamanan elemen balok tersebut dari kerusakan.



Gambar 4. 54 Momen Saat Pengangkatan Balok Induk

Dimana :

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \times \operatorname{tg} \theta} \right)$$

$$-M = \frac{WX^2L^2}{2}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4Y_c}{L \times \operatorname{tg} \theta}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{Y_t}{Y_b} \left(1 + \frac{4Y_c}{L \times \operatorname{tg} \theta} \right)} \right)}$$

➤ **Kondisi sebelum komposit**

$$b = 50 \text{ cm}$$

$$h = 56 \text{ cm}$$

$$L = 640 \text{ cm}$$

Perhitungan :

$$Y_t = Y_b = \frac{(56)}{2} = 28 \text{ cm}$$

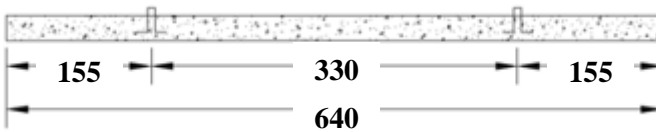
$$Y_c = Y_t + 5 = 28 + 5 = 33 \text{ cm}$$

Sudut pengangkatan (45°)

$$X = \frac{1 + \frac{4 \times 33}{640 \times \operatorname{tg} 45^\circ}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{28}{28} \left(1 + \frac{4 \times 33}{640 \times \operatorname{tg} 45^\circ} \right)} \right)} = 0,243$$

$$X \times L = 0,243 \times 640 = 155,31 \text{ cm} = 155 \text{ m}$$

$$L - 2 \times (X \times L) = 640 - 2 \times (155) = 330 \text{ cm}$$



Gambar 4. 55 Letak Titik Pengangkatan

➤ **Pembebanan**

Balok = $0,5 \times 0,56 \times 2360 = 660 \text{ kg/m}$

Balok induk dibuat secara pracetak di pabrik. Elemen balok harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses pengangkatan. Tempat pengangkatan dan kekuatan tulangan angkat harus menjamin keamanan elemen balok tersebut dari kerusakan.

Pengangkatan balok induk pracetak dilakukan dengan 2 titik angkat pada saat umur 3 hari, sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah:

$f_{ci} \text{ (3 hari)} = 0,46 \times 35 \text{ MPa} = 16 \text{ MPa}$

$f_{cr} \text{ untuk beton 3 hari adalah}$

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f_{c'}} = 0,7 \times \sqrt{16} = 2,81 \text{ MPa}$$

➤ Menghitung momen tahanan

$$W_t = \frac{1}{6} \times b \times h^2$$

$$\begin{aligned} W_t &= \frac{1}{6} \times 500 \times 560^2 \\ &= 26133333,3 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Dalam upaya untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan faktor akibat pengangkatan sebesar 1,2 sebagai berikut:

- Momen lapangan

$$+ M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \times \tan \theta} \right)$$

$$+M = \left(\frac{660,8 \times 6,40^2}{8} \left(1 - 4 \times 0,243 + \frac{4 \times 0,33}{6,40 \times \text{tg } 45} \right) \right) \times 1,2$$

$$= 956,3624 \text{ kgm}$$

- Tegangan yang terjadi

$$f = \frac{M}{Wt} = \frac{956,3624 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 500 \times 560^2}$$

$$= 0,366 \text{ MPa} \leq f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} = 2,81 \text{ MPa (OK)}$$

- Momen tumpuan

$$-M = \frac{WX^2 L^2}{2}$$

$$-M = \left(\frac{660,8 \times 0,243^2 \times 6,40^2}{2} \right) \times 1,2 = 956,3624 \text{ kgm}$$

- Tegangan yang terjadi

$$f = \frac{M}{Wt} = \frac{956,3624 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 500 \times 560^2}$$

$$= 0,366 \text{ MPa} \leq f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} = 2,81 \text{ MPa (OK)}$$

Dari perhitungan momen diatas, didapatkan nilai f' akibat momen positif dan negatif berada dibawah nilai $f'_{r_{ijin}}$ usia beton 3 hari. Jadi dapat ditarik kesimpulan, balok anak tersebut aman dalam menerima tegangan akibat pengangkatan.

b) Kontrol Tegangan Saat Penumpukkan

Penumpukan balok induk pracetak dilakukan dengan 4 tumpuan pada saat umur 3 hari, sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah:

$$f_{ci} \text{ (3 hari)} = 0,46 \times 35 \text{ MPa} = 16 \text{ MPa}$$

f_{cr} untuk beton 3 hari adalah

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f_{c'}} = 0,7 \times \sqrt{16} = 2,81 \text{ MPa}$$

Pada saat pengangkatan ditambahkan koefisien beban = 1,2

Berat sendiri balok induk pracetak sebelum komposit:

$$Q_d = 1,2 \times (b \times h \times 2360 \text{ kg/m}^3)$$

$$Q_d = 1,2 \times (0,5 \times 0,56 \times 2360)$$

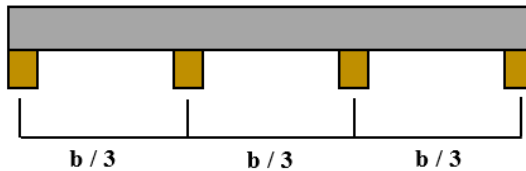
$$Q_d = 792,96 \text{ kg/m}^2$$

$$P_u = 1,6 \times (2 \times 100 \text{ kg}) = 320 \text{ kg}$$

$$W = 1/6 \times b \times h^2 = 1/6 \times 500 \times 560^2 = 26133333,3 \text{ mm}^3$$

$$L = b / 3 = 7,2 \text{ m} / 3 = 2,4 \text{ m}$$

Penumpu = 4 buah



$$\begin{aligned} M. \text{ lapangan} &= \left(\frac{1}{10} \times Q_d \times L^2 \right) + (0,25 \times P_u \times L) \\ &= \left(\frac{1}{10} \times 792,96 \times 2,4^2 \right) + (0,25 \times 320 \times 2,4) \\ &= 648,745 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Faktor kejut = 1,5

$$M. \text{ lapangan} = 1,5 \times 648,745 \text{ kgm} = 973,117 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned} M. \text{ tumpuan} &= \left(\frac{1}{8} \times Q_d \times L^2 \right) \\ &= \left(\frac{1}{8} \times 792,96 \times 2,4^2 \right) \\ &= 570,931 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Faktor kejut = 1,5

$$M. \text{ tumpuan} = 1,5 \times 570,931 \text{ kgm} = 856,397 \text{ kgm}$$

- Kontrol Tegangan:

$$\sigma_x = \frac{M_{lap}}{W} = \frac{973,117 \times 10^4}{26133333,3} = 0,37 \text{ MPa} < f_r = 2,81 \text{ MPa}$$

(memenuhi)

$$\sigma_y = \frac{M_{tump}}{W} = \frac{856,397 \times 10^4}{26133333,3} = 0,33 \text{ MPa} < f_r = 2,81 \text{ MPa}$$

(memenuhi)

- Kontrol Jumlah Penumpukan:

Digunakan penyangga dari balok kayu 6/12

Luas bidang kontak, $A = 0,06 \times 4$ balok kayu

$$= 0,24 \text{ m}^2 = 240000 \text{ mm}^2$$

$$P = 1,2 ((L \times 2360 \text{ kg/m}^3 \times a \times b) + 1,6 (2 \times \text{beban pekerja}))$$

$$P = 1,2 (7,2 \text{ m} \times 2360 \text{ kg/m}^3 \times 0,5 \text{ m} \times 0,56 \text{ m}) + 1,6 (2 \times 100 \text{ kg})$$

$$P = 6029,31 \text{ kg} = 60293,1 \text{ N}$$

$$f = \frac{P}{A} = \frac{60293,1}{240000} = 0,251 \text{ MPa}$$

$$\text{Jumlah Penumpukan} = \frac{f_r}{f \times SF} = \frac{2,81}{0,251 \times 3} = 3,73 \approx 3 \text{ tumpukan}$$

c) Kontrol Tegangan Saat Pemasangan

Pemasangan balok induk pracetak dilakukan pada saat umur 7 hari, sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah:

$$f_{ci} (7 \text{ hari}) = 0,7 \times 35 \text{ MPa} = 25 \text{ MPa}$$

f_{cr} untuk beton 7 hari adalah

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f_{ci}} = 0,7 \times \sqrt{25} = 3,46 \text{ MPa}$$

Pada saat pemasangan ditambahkan koefisien beban = 1,2 sehingga:

Berat sendiri balok induk pracetak sebelum komposit:

$$Q_d = 1,2 \times (b \times h \times 2360 \text{ kg/m}^3)$$

$$Q_d = 1,2 \times (0,5 \times 0,56 \times 2360)$$

$$Q_d = 792,96 \text{ kg/m}^2$$

Berat sendiri balok anak pracetak sebelum komposit:

$$Q_d = 1,2 \times (b \times h \times 2360 \text{ kg/m}^3) \times 2 \text{ balok anak}$$

$$Q_d = 1,2 \times (0,3 \times 0,36 \times 2360) \times 2 \text{ balok anak}$$

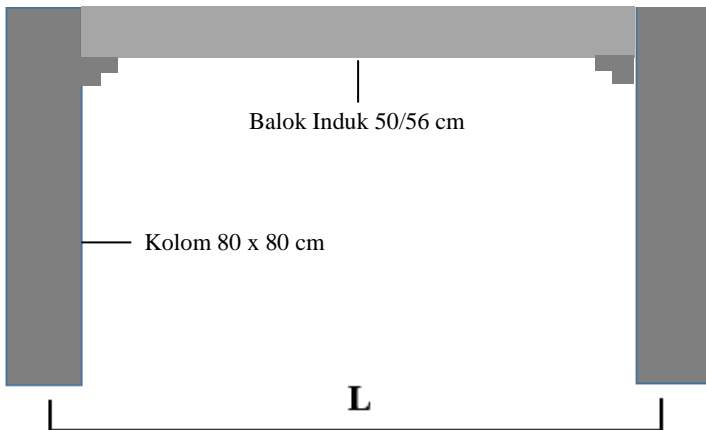
$$Q_d = 611,71 \text{ kg/m}^2$$

$$Q_d \text{ total} = 1404,67 \text{ kg/m}^2$$

$$P_u = 1,6 \times (100 \text{ kg} \times 2) = 320 \text{ kg}$$

$$W = 1/6 \times b \times h^2 = 1/6 \times 500 \times 560^2 = 26133333,3 \text{ mm}^3$$

$$L = b = 7,2 \text{ m}$$



Asumsi saat pemasangan balok induk pracetak, sehingga perhitungan momen:

$$\begin{aligned} M. \text{ lapangan} &= \left(\frac{1}{10} \times Q_d \times L^2 \right) + (0,25 \times P_u \times L) \\ &= \left(\frac{1}{10} \times 1404,67 \times 7,2^2 \right) + (0,25 \times 320 \times 7,2) \\ &= 2108,455 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\text{Faktor kejut} = 1,5$$

$$M. \text{ lapangan} = 1,5 \times 2108,455 \text{ kgm} = 3162,682 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned}
 M. \text{ tumpuan} &= \left(\frac{1}{8} \times Qd \times L^2 \right) \\
 &= \left(\frac{1}{8} \times 1404,67 \times 7,2^2 \right) \\
 &= 3276,819 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Faktor kejut = 1,5

$$M. \text{ tumpuan} = 1,5 \times 3276,819 \text{ kgm} = 4915,228 \text{ kgm}$$

- Kontrol Tegangan:

$$\sigma_x = \frac{M.lap}{W} = \frac{3162,682 \times 10^4}{26133333,3} = 1,21 \text{ MPa} < f_r = 3,46 \text{ MPa}$$

(memenuhi)

$$\sigma_y = \frac{M.tump}{W} = \frac{4915,228 \times 10^4}{26133333,3} = 1,88 \text{ MPa} < f_r = 3,46 \text{ MPa}$$

(memenuhi)

d) Kontrol Tegangan Saat Pengecoran

Pengecoran balok induk pracetak dilakukan pada saat umur 7 hari, sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah:

$$f_{ci} (7 \text{ hari}) = 0,7 \times 35 \text{ MPa} = 25 \text{ MPa}$$

f_{cr} untuk beton 7 hari adalah

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f_{c'}} = 0,7 \times \sqrt{25} = 3,46 \text{ MPa}$$

Pada saat pengecoran ditambahkan koefisien beban = 1,2 sehingga:

Berat sendiri balok induk pracetak sesudah komposit:

$$Qd = 1,2 \times (b \times h \times 2360 \text{ kg/m}^3)$$

$$Qd = 1,2 \times (0,5 \times 0,7 \times 2360)$$

$$Qd = 991,20 \text{ kg/m}^2$$

Berat sendiri balok anak pracetak sesudah komposit:

$$Qd = 1,2 \times (b \times h \times 2360 \text{ kg/m}^3)$$

$$Qd = 1,2 \times (0,3 \times 0,5 \times 2360)$$

$$Qd = 424,80 \text{ kg/m}^2$$

Berat sendiri pelat pracetak sesudah komposit:

$$Q_d = 1,2 \times (t_{\text{pelat}} \times a \times 2360 \text{ kg/m}^3)$$

$$Q_d = 1,2 \times (0,14 \times 6,1 \times 2360)$$

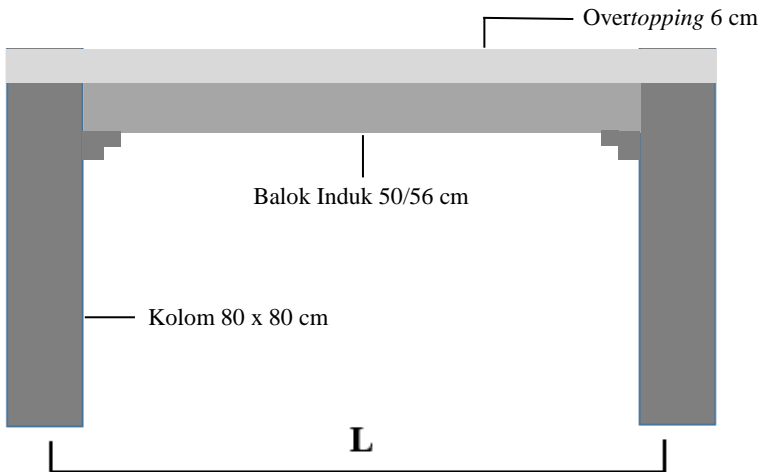
$$Q_d = 2418,53 \text{ kg/m}^2$$

$$Q_d \text{ total} = 3834,53 \text{ kg/m}^2$$

$$P_u = 1,6 \times (100 \text{ kg} \times 2) = 320 \text{ kg}$$

$$W = 1/6 \times b \times h^2 = 1/6 \times 500 \times 700^2 = 40833333,3 \text{ mm}^3$$

$$L = b = 7,2 \text{ m}$$



Asumsi saat pengecoran balok induk pracetak, sehingga perhitungan momen:

$$\begin{aligned} M. \text{ lapangan} &= \left(\frac{1}{10} \times Q_d \times L^2 \right) + (0,25 \times P_u \times L) \\ &= \left(\frac{1}{10} \times 3834,53 \times 7,2^2 \right) + (0,25 \times 320 \times 7,2) \\ &= 5257,548 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Faktor kejut = 1,5

$$M. \text{ lapangan} = 1,5 \times 5257,548 \text{ kgm} = 7886,322 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned}
 M. \text{ tumpuan} &= \left(\frac{1}{8} \times Qd \times L^2 \right) \\
 &= \left(\frac{1}{8} \times 3834,53 \times 7,2^2 \right) \\
 &= 8945,187 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Faktor kejut = 1,5

$$M. \text{ tumpuan} = 1,5 \times 8945,187 \text{ kgm} = 13417,780 \text{ kgm}$$

- Kontrol Tegangan:

$$\sigma_x = \frac{M.lap}{W} = \frac{7886,322 \times 10^4}{40833333,3} = 1,93 \text{ MPa} < f_r = 3,46 \text{ MPa}$$

(memenuhi)

$$\sigma_y = \frac{M.tump}{W} = \frac{13417,78 \times 10^4}{40833333,3} = 3,29 \text{ MPa} < f_r = 3,46 \text{ MPa}$$

(memenuhi)

4.4.2.7 Penulangan Balok Induk Terpasang

Penulangan balok induk yang terpakai atau yang akan dipasang adalah dipilih penulangan yang paling banyak dari beberapa keadaan diatas (keadaan sebelum komposit, saat pengangkatan, dan sesudah komposit) yaitu sebagai berikut:

Tabel 4. 42 Penulangan Tumpuan Balok Induk

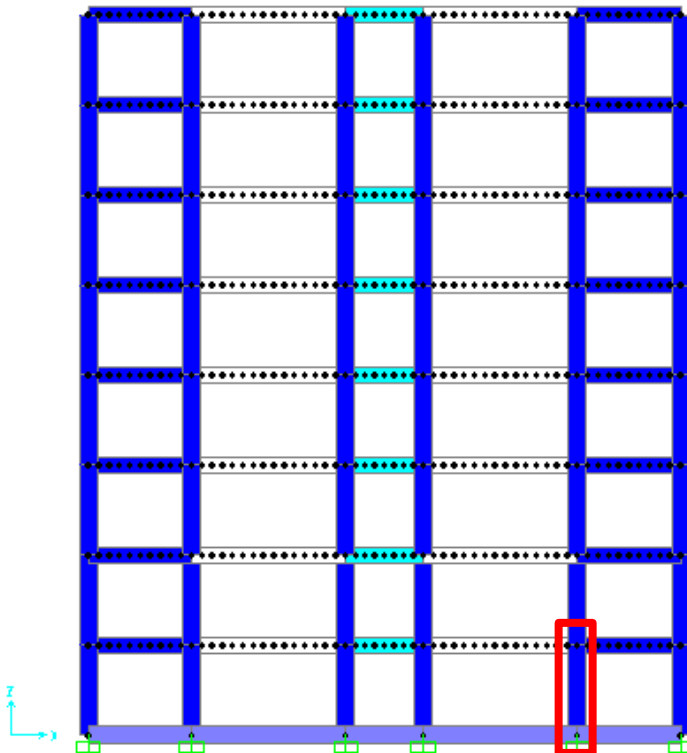
Tipe Balok Induk	L	b	h	Tulangan Lentur		Sengkang	Torsi	Tulangan Angkat
	mm	mm	mm	Atas	Bawah			
B1	7200	500	700	8D22	5D22	2D13 – 100	4D13	2D16
B2	4800	500	700	6D22	4D22	2D13 – 100	4D13	2D16
B3	3600	500	700	6D22	5D22	2D13 – 100	4D13	2D16
B4	5125	500	700	6D22	4D22	2D13 – 100	4D13	2D16
B5	2075	500	700	4D22	4D22	2D13 – 100	4D13	2D16

Tabel 4. 43 Penulangan Lapangan Balok Induk

Tipe Balok Induk	L	b	h	Tulangan Lentur		Sengkang	Torsi	Tulangan Angkat
	mm	mm	mm	Atas	Bawah			
B1	7200	500	700	2D22	4D22	2D13 – 300	4D13	2D16
B2	4800	500	700	2D22	4D22	2D13 – 300	4D13	2D16
B3	3600	500	700	2D22	4D22	2D13 – 200	4D13	2D16
B4	5125	500	700	2D22	4D22	2D13 – 300	4D13	2D16
B5	2075	500	700	2D22	4D22	2D13 – 250	4D13	2D16

4.4.3 Perencanaan Kolom

Kolom merupakan struktur utama yang berfungsi memikul beban yang diterima struktur, baik dari struktur sekunder maupun balok induk, serta berfungsi untuk meneruskan beban yang diterima ke pondasi. Pada perencanaan Proyek Akhir Terapan ini, kolom yang diperhitungkan diambil pada kolom yang memikul beban terbesar atau kolom yang mengalami gaya aksial terbesar dari hasil perhitungan SAP 2000 v14, dengan gaya aksial paling besar yang terjadi pada kolom pada *frame* 160.



Gambar 4. 56 Kolom yang Ditinjau dalam Perhitungan
(SAP 2000 v14)

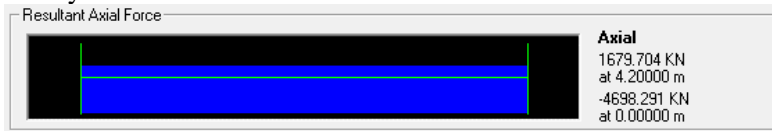
4.4.3.1 Data Umum Perencanaan Kolom

Data umum perencanaan adalah sebagai berikut:

- Dimensi kolom : 800/800 mm
- Tinggi kolom : 4200 mm
- Tebal decking : 40 mm
- Diameter Tulangan Utama (D) : 25 mm
- Diameter Sengkang (ϕ) : 13 mm
- Mutu baja (f_y) : 400 Mpa
- Mutu beton (f_c') : 35 Mpa
- $d = 800 - 40 - 16 - (0,5 \times 25) = 734,5$ mm

Dari program bantu SAP 2000 v14, didapatkan gaya-gaya maksimum yang terjadi pada kolom kombinasi 1,32 D + 0,39 Ex + 1,3 Ey + 1,0 L (kombinasi ENVELOPE) adalah sebagai berikut:

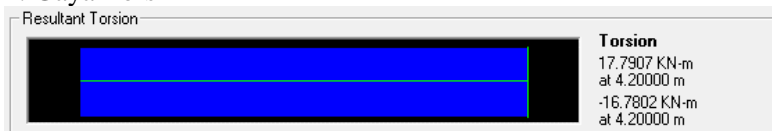
1. Gaya Aksial



Gambar 4. 57 Gaya Aksial yang Didapatkan dari SAP 2000 v14

Didapatkan: Pu bawah = 4698,291 kN

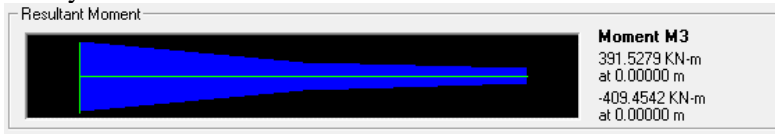
2. Gaya Torsi



Gambar 4. 58 Gaya Torsi yang Didapatkan dari SAP 2000 v14

Didapatkan: T = 17,7907 kNm

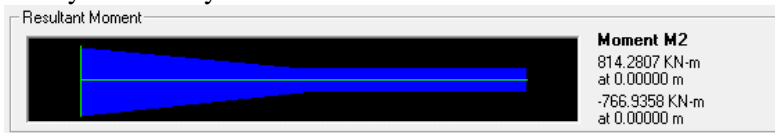
3. Gaya Momen-x



Gambar 4. 59 Gaya Mx yang Didapatkan dari SAP 2000 v14

Didapatkan: $M_{ux} = 409,4542 \text{ kNm}$

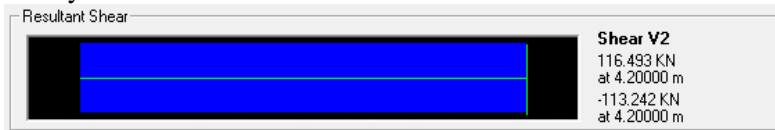
4. Gaya Momen-y



Gambar 4. 60 Gaya My yang Didapatkan dari SAP 2000 v14

Didapatkan: $M_{uy} = 814,2807 \text{ kNm}$

5. Gaya Geser



Gambar 4. 61 Gaya Geser yang Didapatkan dari SAP 2000 v14

Didapatkan: $V_u = 116,493 \text{ kN}$

4.4.3.2 Kontrol Dimensi Kolom

Sebelum diperiksa syarat dimensi kolom menurut SNI-2847-2013 Pasal 21.6.1 harus dipenuhi bila:

- Kolom sebagai penahan gaya gempa dan yang menahan gaya tekan aksial
- Menerima beban aksial berfaktor lebih besar dari $A_g f'_c / 10 = 800 \times 800 \times 35 / 10 = 2240000 \text{ N} = 2240 \text{ kN}$

Karena 2240 kN ini lebih kecil dari beban aksial berfaktor maximum dari SAP (4698,291 kN) maka pasal tersebut diatas berlaku:

- Ukuran penampang terpendek 800 mm > 300 mm (Ok)
- Ratio $b/h = 800/800 = 1 > 0,4$ (Ok)

4.4.3.3 Perhitungan Penulangan Kolom

Dengan menggunakan *software* SAP2000 diperoleh besarnya gaya dalam pada kolom sebagai berikut:

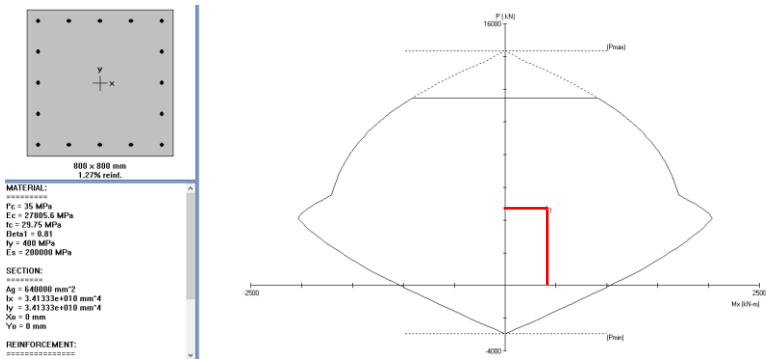
Tabel 4. 44 Rekapitulasi Gaya dalam Kolom (*Frame* 177)

Ukuran (mm)	Aksial (kN)	Torsi (kN-m)	Momen x (kN-m)	Momen y (kN-m)	Gaya Geser (kN)
800x800	-4698,291	17,7907	-409,4542	814,2807	116,493

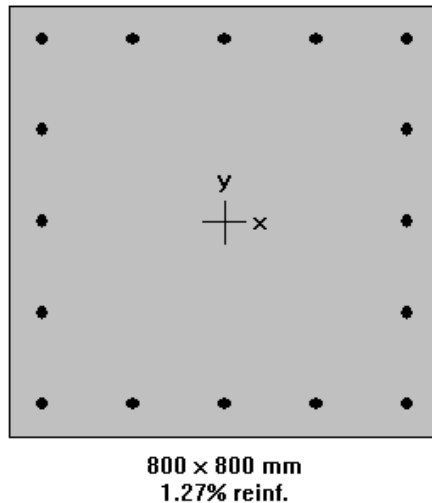
Sesuai dengan persyaratan pada SNI-03-2847 2013 komponen struktur yang memikul gaya aksial terfaktor akibat beban gravitasi terfaktor yang melebihi $A_g f'_c / 10$, harus memenuhi ketentuan pada *pasal* 21.6.4, 21.6.5, dan 21.7.3.

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya aksial terfaktor} &\leq A_g \times \frac{f'_c}{10} \\
 &\leq 800 \times 800 \times \frac{35}{10} \\
 &\leq 2240000 \text{ N} = 2240 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Dari hasil analisa dengan program bantu SAP 2000 didapat gaya aksial tekan terfaktor yang terbesar adalah 4698,291 kN. Karena beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur telah melebihi $A_g \times \frac{f'_c}{10}$, maka detail pengekanan kolom harus sesuai dengan SNI 03-2847-2013 *pasal* 21.6.4, 21.6.5, dan 21.7.3.



Gambar 4. 62 Diagram Interaksi Aksial Vs Momen Kolom



Gambar 4. 63 Konfigurasi Penulangan Kolom pada Program PCACOL

Berdasarkan kombinasi pada **Tabel 4.44**, maka kolom memerlukan tulangan memanjang (longitudinal) sebanyak 16D25 ($\rho = 1,27\%$) seperti pada hasil perhitungan program bantu PCACOL pada Gambar 4.63. Kebutuhan ρ tersebut telah memenuhi syarat SNI 03-

2847-2013 pasal 10.9.1 yaitu antara 1%- 8%. Dari hasil analisis kolom menggunakan program bantu PCACOL, didapat hasil analisa sebagai berikut:

- Rasio tulangan longitudinal = 1,27 %
- Penulangan 16D25 = $A_s = 7850 \text{ mm}^2$
- $I_x = 3,41333 \times 10^{10} \text{ mm}^4$
- $I_y = 3,41333 \times 10^{10} \text{ mm}^4$
- $A_g = 640000 \text{ mm}^2$

4.4.3.4 Kontrol Kapasitas Beban Aksial Kolom

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 10.3.6.2, kapasitas beban aksial kolom tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor hasil analisa struktur.

$$\begin{aligned}\phi P_n(\text{max}) &= 0,8 \times \phi \times \left[0,85 \times f_c' \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st} \right] \\ &= 0,8 \times 0,65 \times \left[0,85 \times 35 \times (640000 - 7850) + 400 \times 7850 \right] \\ &= 11412160,5 \text{ N} \\ &= 11412,161 \text{ kN} > 4698,291 \text{ kN} \dots\dots\dots \text{OK}\end{aligned}$$

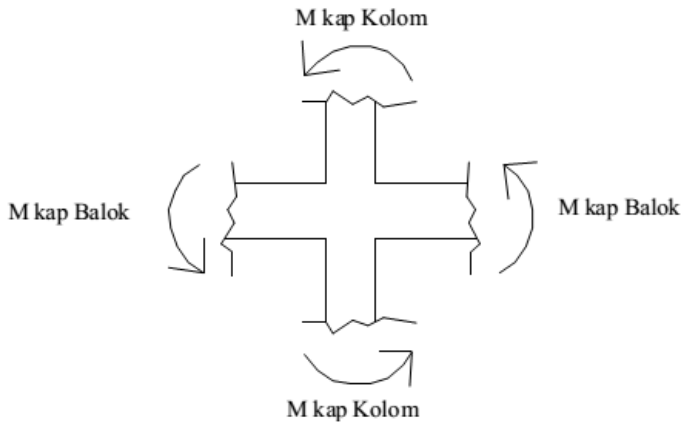
jadi, tulangan memanjang 16 D25 dapat digunakan.

4.4.3.5 Persyaratan “Strong Column Weak Beams”

Sesuai dengan filosofi desain kapasitas, maka SNI-2847-2013 pasal 21.6.2 mensyaratkan bahwa.

$$\sum M_c \geq (1,2) \sum M_g$$

Dimana $\sum M_{nc}$ adalah momen kapasitas kolom dan $\sum M_g$ merupakan momen kapasitas balok. Perlu dipahami bahwa M_c harus dicari dari gaya aksial terfaktor yang menghasilkan kuat lentur terendah, sesuai dengan arah gempa yang ditinjau yang dipakai untuk memeriksa syarat *strong column weak beam*. Setelah kita dapatkan jumlah tulangan untuk kolom, maka selanjutnya adalah mengontrol apakah kapasitas kolom tersebut sudah memenuhi persyaratan *strong kolom weak beam*.



Gambar 4. 64 Ilustrasi Kuat Momen yang Bertemu di HBK

- a. Menentukan nilai $\sum M_g$:

$$\text{As Tulangan lentur atas balok} = 8D22 = 3039,52 \text{ mm}^2$$

$$\text{As Tulangan lentur bawah balok} = 5D22 = 1899,7 \text{ mm}^2$$

$$d = 626 \text{ mm}$$

- Menentukan M_g^+ dan M_g^-

$$\alpha^+ = \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c' \times b} = \frac{3039,52 \times 400}{0,85 \times 35 \times 500} = 81,735 \text{ mm}$$

$$M_g^+ = \phi \times As \times fy \times \left(d - \frac{\alpha}{2}\right)$$

$$M_g^+ = 0,9 \times 3039,52 \times 400 \times \left(626 - \frac{81,735}{2}\right)$$

$$M_g^+ = 640267901,7 \text{ Nmm} = 640,268 \text{ kNm}$$

$$\alpha^- = \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c' \times b} = \frac{1899,7 \times 400}{0,85 \times 35 \times 500} = 51,084 \text{ mm}$$

$$M_g^- = \phi \times As \times fy \times \left(d - \frac{\alpha}{2}\right)$$

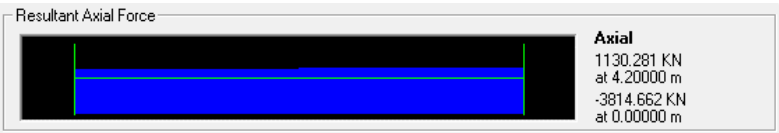
$$M_g^- = 0,9 \times 1899,7 \times 400 \times \left(626 - \frac{51,084}{2}\right)$$

$$M_g^- = 410648296,1 \text{ Nmm} = 410,648 \text{ kNm}$$

Maka, $\sum M_g = M_g^+ + M_g^- = 640,268 \text{ kNm} + 410,648 \text{ kNm}$
 $= 1050,916 \text{ kNm}$

$(1,2) \sum M_g = 1,2 \times 1050,916 \text{ kNm}$
 $= 1261,099 \text{ kNm}$

- b. Menentukan nilai $\sum M_c$:
Untuk menentukan nilai M_c , didapatkan dari diagram interaksi P-M antara kolom atas dengan kolom bawah / kolom desain dengan program bantu PCACOL. Untuk gaya-gaya yang terjadi pada kolom atas (*frame 70*) adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 65 Gaya Aksial yang Terjadi pada Kolom Atas

Didapatkan: $P \text{ max} = 3814,662 \text{ kN}$

Dari diagram interaksi kolom atas dan bawah didapatkan:

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities:				
No.	Pu kN	Mux kN-m	fMnx kN-m	fMn/Mu
1	4698.3	409.5	1937.6	4.732

Gambar 4. 66 Output Diagram Interaksi P-M Kolom Desain Bawah

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities:				
No.	Pu kN	Mux kN-m	fMnx kN-m	fMn/Mu
1	3814.7	236.6	1994.6	8.431

Gambar 4. 67 Output Diagram Interaksi P-M Kolom Desain Atas

Dari gambar diatas, didapatkan nilai M_c kolom bawah dan M_c kolom atas yakni:

- M_c kolom bawah = 1937,6 kNm
 - M_c kolom atas = 1994,6 kNm
- $$\begin{aligned}\sum M_c &= M_{c \text{ bawah}} + M_{c \text{ atas}} \\ &= 1937,6 \text{ kNm} + 1994,6 \text{ kNm} \\ &= 3932,2 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Maka dilakukan cek persyaratan “*Strong Coloumn Weak Beam*”

$$\begin{aligned}\sum M_c &\geq (1,2) \sum M_g \\ 3932,2 \text{ kNm} &\geq 1261,099 \text{ kNm} \dots\dots\dots (\text{OK})\end{aligned}$$

Maka Memenuhi Persyaratan “*Strong Column Weak Beam*”

4.4.3.6 Kontrol Persyaratan Kolom Terhadap Gaya Geser Rencana V_e

- Geser pada kolom :

Bedasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.6.5.1 gaya geser desain, V_e ditentukan sebagai berikut :

$$V_e = \frac{(2 \times M_{pr})}{Ln}$$

M_{pr} adalah kekuatan lentur mungkin komponen struktur, dengan atau tanpa beban aksial, yang ditentukan menggunakan properti komponen struktur pada muka joint yang mengasumsikan tegangan tarik dalam batang tulangan longitudinal sebesar paling sedikit **1,25 f_y** . Sehingga nilai f_y untuk analisa geser sebesar :

$$1,25 \times f_y = 1,25 \times 400 = 500 \text{ Mpa}$$

Dari hasil analisa *PCACOL* didapatkan nilai $\phi M_n = 1937,6$ kNm dan $\phi = 0,65$

$$\text{Maka, } M_{pr} = M_n = \frac{\phi M_n}{\phi} = \frac{1937,6}{0,65} = 2980,923 \text{ kNm}$$

Panjang bentang bersih: $4,200 - 0,8 = 3,4 \text{ m}$

$$V_e = \frac{(2 \times 2980,923)}{3,400} = 1753,484 \text{ kN}$$

➤ Geser pada balok :

V_e tidak perlu lebih besar dari V_{sway} yang dihitung berdasarkan M_{pr} balok:

$$V_{sway} = \frac{M_{pr \text{ atas}} \cdot DF_{\text{atas}} + M_{pr \text{ bawah}} \cdot DF_{\text{bawah}}}{L_n}$$

DF = faktor distribusi momen bagian atas dan bawah kolom yang didesain.

Karena kolom lantai atas dan bawah mempunyai kekakuan yang sama, maka $DF_{\text{atas}} = DF_{\text{bawah}} = 0,5$

$$\begin{aligned} V_{sway} &= \frac{(873,734 + 564,28) \times 0,5 + (873,734 + 564,28) \times 0,5}{2,8} \\ &= 975,795 \text{ kN} \end{aligned}$$

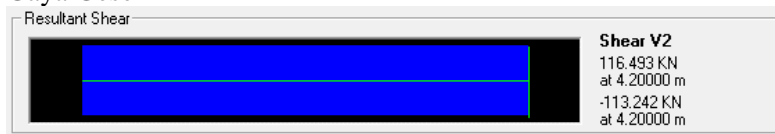
$V_e > V_{sway}$

1753,484 kN > 975,795 kN

Maka, digunakan $V_e = V_{sway} = 975,795 \text{ kN}$

Tapi V_e tidak boleh lebih kecil dari gaya geser terfaktor hasil analisis struktur yaitu:

Gaya Geser



Gambar 4. 68 Gaya Geser yang Didapatkan dari SAP 2000 v14

Didapatkan: $V_u = 116,493 \text{ kN}$

$V_e > V_u$

975,795 kN > 116,493 kN (OK)

Sehingga diambil nilai gaya geser sebesar 975,795 kN.

A. Pengekang kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.6.4.1 panjang ℓ_o tidak boleh kurang dari yang terbesar dari :

a) $h = 800 \text{ mm}$

b) $\frac{1}{6} \times l_n = \frac{1}{6} \times 3400 = 566,667 \text{ mm}$

c) 450 mm

\therefore Maka, ℓ_o pakai adalah 800 mm

Untuk jarak sengkang (s) sepanjang panjang ℓ_o berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.6.4.3 tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

a) $\frac{1}{4} \times b = \frac{1}{4} \times 800 = 200 \text{ mm}$

b) $6 \times dl = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$

c) $s_o = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right)$
 $= 100 + \left(\frac{350 - (0,5 \times (800 - 2 \times (40 + 13 / 2)))}{3} \right) = 98,83 \text{ mm}$

Dimana S_o tidak perlu lebih besar dari 150 mm .

Maka dipakai jarak sengkang (s) = 95 mm

Untuk A_{sh} minimal sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 21.6.4.4 diperoleh dari nilai lebih besar dari hasil 2 rumus berikut:

$$A_{sh} = 0,3 \times \frac{s b_c f_c'}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right]$$

atau

$$A_{sh} = 0,09 \frac{s b_c f_c'}{f_{yt}}$$

Keterangan:

S = jarak spasi tulangan transversal (mm)

b_c = dimensi potongan melintang dari inti kolom, diukur dari pusat ke pusat dari tulangan pengekang (mm)

A_g = luasan penampang kolom (mm²)

A_{ch} = luasan penampang kolom diukur dari daerah terluar tulangan transversal (mm²)

f_{yt} = kuat leleh tulangan transversal (Mpa)

Dengan asumsi bahwa $s = 100$ mm, $f_{yt} = 400$ Mpa, selimut beton = 40 mm dan $D_s = 13$ mm. sehingga diperoleh:

$$b_c = 800 - 2(40 + \frac{1}{2} \times 13) = 707 \text{ mm}$$

$$A_g = 800 \times 800 = 640000 \text{ mm}^2$$

$$A_{ch} = (800 - 40)^2 = 577600 \text{ mm}^2$$

Maka:

$$A_{sh} = 0,3 \times \frac{95 \times 707 \times 35}{400} \left[\left(\frac{640000}{577600} \right) - 1 \right] = 190,471 \text{ mm}^2$$

atau

$$A_{sh} = 0,09 \times \frac{95 \times 707 \times 35}{400} = 528,924 \text{ mm}^2$$

Dicoba pasang:

$$A_s = 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 = 530,66 \text{ mm}^2 > A_{sh} \text{ max} = 528,924 \text{ mm}^2$$

Untuk memenuhi syarat diatas dipasang 4D13 – 95 mm ($A_{sh} = 530,66 \text{ mm}^2 > 528,924 \text{ mm}^2$). Mengingat beban aksial terfaktor kolom minimal 4698,29 kN > 2240 kN, maka Nilai V_c diambil sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.2

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c} b_w d$$

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{4698,29}{14 \times 640000} \right) \times 1 \times \sqrt{35} \times 800 \times 734,5$$

$$V_c = 900851,244 N = 900,851 kN$$

Bedasarkan A_v 4D13 = 530,66 mm² dan s terpasang = 95 mm

$d = h \text{ kolom} - d' - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} dl$

$$d = 800 - 40 - 13 - \frac{1}{2} 25$$

$$d = 734,5 \text{ mm}$$

$$V_s = \frac{A_s \times f_y \times d}{s}$$

$$V_s = \frac{530,66 \times 400 \times 734,5}{100} = 1641135,874 N = 1641,136 kN$$

Maka:

$$\begin{aligned} \emptyset(V_s + V_c) &= 0,75(1641,136 + 900,851) \\ &= 1906,490 kN > V_u = 975,795 kN \end{aligned}$$

Maka A_{sh} yang terpasang di $\ell_o = 800$ mm cukup untuk menahan geser.

Bedasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.6.4.5 spasi sengkang di luar panjang ℓ_o boleh melebihi yang lebih kecil dari:

$$a) 6 \times dl = 6 \times 25 = 150 mm$$

$$b) 150 \text{ mm}$$

\therefore Maka, dipakai sengkang di luar panjang 4D13 - 150mm

B. Lap Splices (Panjang Lewatan pada Sambungan Tulangan Kolom)

Lap splice (sambungan lewatan) kolom yang diletakkan di tengah tinggi kolom, dan harus diikat dengan tulangan sengkang. Sepanjang *lap splice*, spasi tulangan transversal dipasang sesuai

perhitungan confinement sebelumnya yaitu 100 mm. Dan harus memenuhi ketentuan panjang lewatan yang ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.3. Digunakan *class B lap splice* jika semua tulangan disalurkan di lokasi yang sama. Panjang lewatan kelas B = $1,31 l_d$ (Pasal 12.15.1). Besarnya l_d berdasarkan persamaan sesuai pasal 12.2.3 dengan menggunakan nilai $k_{tr} = 0$ untuk penyederhanaan desain.

Untuk tulangan D25 maka panjang penyaluran adalah:

$$l_d = \left(\frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f_c}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) \times d_b$$

Dimana :

$$\Psi_t = 1 ; \Psi_e = 1 ; \Psi_s = 1$$

$$\lambda = 1$$

$$K_{tr} = 0 \rightarrow \text{penyederhanaan desain}$$

$$c = 40 + d_s + \frac{1}{2}d_l$$

$$= 40 + 13 + \frac{1}{2} 25$$

$$= 65,5 \text{ mm}$$

$$1,3l_d = 1,3 \times \left(\frac{400}{1,1 \times 1 \times \sqrt{35}} \frac{1 \times 1 \times 1}{\left(\frac{65,5 + 0}{25} \right)} \right) \times 25$$

$$1,3l_d = 762,457 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.7.2 sambungan lewatan tulangan ulir dan kawat ulir $l_d \geq 200 \text{ mm}$, maka

$$l_d \geq 200 \text{ mm}$$

$$762,457 \geq 200 \text{ mm} \dots\dots\dots \text{OK}$$

Maka digunakan sambungan lewatan sepanjang 1000 mm

4.4.4 Desain Hubungan Balok Kolom

Hubungan balok kolom didesain dengan metode SRPMK, yang merupakan tempat pertemuan komponen struktur balok dan kolom yang telah didesain pada perhitungan sebelumnya.

➤ Dimensi join

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.7.4.1)

Luas efektif hubungan kolom:

$$A_j = 800 \times 800 = 640000 \text{ mm}^2$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.7.2.3)

Panjang join yang diukur paralel terhadap tulangan lentur balok yang menyebabkan geser di join sedikitnya 20 db.

$$\text{Panjang join: } 20 \times 25 = 500 \text{ mm}$$

➤ Penulangan transversal untuk confinement

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.7.3.1)

Harus ada tulangan confinement dalam join

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.7.3.2)

Untuk join interior dibutuhkan setidaknya $\frac{1}{2}$ tulangan confinement yang dibutuhkan diujung-ujung kolom. Dari perhitungan desain kolom sebelumnya diperoleh:

$$0,5 \frac{A_{sh}}{s} = 0,5 \times 5,289 \text{ mm}^2/\text{mm} = 2,645 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Spasi vertikal hoops yang diizinkan untuk diperbesar hingga 150 mm. Jarak bersih antar tulangan tekan dan tarik balok adalah:

$$800 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (2 \times 25) - 13 - 25 = 606 \text{ mm}$$

Coba pasang 3 hoops. Yang pertama dipasang pada jarak 50 mm di bawah tulangan atas.

$$\text{Area tulangan hoops yang dibutuhkan} = 150 \text{ mm} \times 2,645 \text{ mm}^2/\text{mm} = 396,693 \text{ mm}^2$$

Dicoba baja tulangan 4 kaki D13

$$A_s = 230,66 \text{ mm}^2 > 396,693 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots (\text{OK})$$

➤ Perhitungan geser di join dan cek kuat geser

Balok yang memasuki join memiliki $M_{pr} = 873,734 \text{ kNm}$ dan $564,280 \text{ kNm}$. Pada join, kekakuan kolom atas dan kekakuan kolom bawah sama, sehingga $DF = 0,5$ untuk setiap kolom.

Maka:

$$M_e = 0,5 \times (873,734 + 564,280) = 719,007 \text{ kNm}$$

Geser pada kolom atas:

$$V_{sway} = (719,007 + 719,007) / 2,8 \text{ m} = 513,576 \text{ kN}$$

Dibagian lapis atas balok, baja tulangan yang dipakai 8D22 ($A_s = 3039,52 \text{ mm}^2$)

Gaya tarik pada balok bagian kiri:

$$T_1 = 1,25 A_s f_y = 1,25 \times 3039,52 \times 400 = 1519,76 \text{ kN}$$

Gaya tekan pada balok kiri:

$$T_1 = C_1 = 1519,76 \text{ kN}$$

Gaya tarik pada balok bagian kanan:

$$T_2 = 1,25 A_s f_y = 1,25 \times 3039,52 \times 400 = 1519,76 \text{ kN}$$

Gaya tekan pada balok kanan:

$$T_2 = C_2 = 1519,76 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_u = V_j &= V_{sway} - T_1 - C_2 \\ &= 513,576 - 1519,76 - 1519,76 \\ &= 2525,94 \text{ kN (Arah } T_1 \text{ ke kiri)} \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.7.4.1)

Kuat geser nominal join yang dikekang diempat sisinya adalah:

$$V_n = 1,7 \sqrt{f_c'} A_j$$

$$V_n = 1,7 \times \sqrt{35} \times 640000$$

$$V_n = 6436,69 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0,75 \times 6436,69 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 4827,5211 \text{ kN} > 2525,94 \text{ kN} \dots\dots\dots (\text{OK})$$

4.5 Perencanaan Sambungan

4.5.1 Umum

Sambungan berfungsi sebagai penyalur gaya-gaya yang dipikul oleh elemen struktur ke elemen struktur yang lainnya. Gaya-gaya tersebut untuk selanjutnya diteruskan ke pondasi. Selain itu desain sambungan dibuat untuk menciptakan kestabilan. Suatu sambungan diharapkan dapat mentransfer beberapa gaya secara bersamaan.

Sambungan basah relatif mudah dalam pelaksanaannya jika dibandingkan dengan sambungan kering (*non topping*) seperti *mechanical connection* dan *welding connection* yang cukup rumit. Untuk sambungan basah dalam daerah *joint*, diberikan tulangan yang dihitung berdasarkan panjang penyaluran dan sambungan lewatan. Selain itu juga dilakukan perhitungan geser friksi yaitu geser beton yang berbeda umurnya antara beton pracetak dengan beton *topping*. Di dalam pelaksanaan biasanya dipakai stud tulangan (*shear connector*) yang berfungsi sebagai penahan geser dan sebagai pengikat antara pelat pracetak dan pelat *topping* agar pelat bersifat secara monolit dalam satu kesatuan integritas struktur.

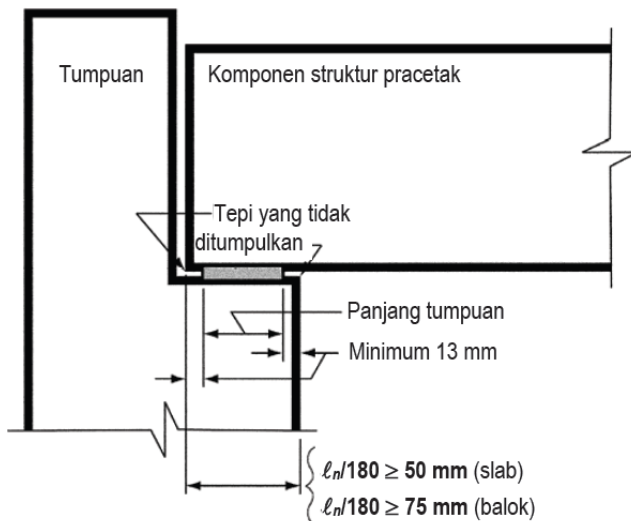
Dalam pelaksanaan konstruksi beton pracetak, sebuah sambungan yang baik selalu ditinjau dari segi praktis dan ekonomis. Selain itu perlu juga ditinjau *serviceability*, kekuatan dan produksi. Faktor kekuatan khususnya harus dipenuhi oleh suatu sambungan karena sambungan harus mampu menahan gaya-gaya yang dihasilkan oleh beberapa macam beban. Beban-beban tersebut dapat berupa beban mati, beban hidup, beban gempa dan kombinasi dari beban-beban tersebut.

Sambungan antar elemen beton pracetak tersebut harus mempunyai cukup kekuatan, kekakuan dan dapat memberikan kebutuhan daktilitas yang disyaratkan. Baik sambungan cor setempat maupun sambungan *grouting* sudah banyak dipergunakan sebagai salah satu pemecahan masalah dalam mendesain konstruksi pracetak yang setara dengan konstruksi cor setempat (*cast in situ*).

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 16.6.2.2, adalah

- $D = 1/180 L_n$
- Untuk slab masif atau inti berongga (*hollow-core*) 50 mm
- Untuk balok atau komponen struktur bertangkai (*stemmed*) 75 mm

Dimana L_n = bentang bersih elemen pracetak



Gambar 4. 69 Panjang Tumpuan pada Tumpuan

4.5.2 Konsep Desain Sambungan

4.5.2.1 Mekanisme Pemindahan Beban

Tujuan dari sambungan adalah memindahkan beban dari satu elemen pracetak ke elemen lainnya atau sebaliknya. Pada setiap sambungan, beban akan ditransfer melalui elemen sambungan dengan mekanisme yang bermacam-macam. Untuk menjelaskan mekanisme pemindahan beban, diambil contoh seperti Gambar 4.70 dimana pemindahan beban diteruskan ke kolom dengan melalui tahap sebagai berikut:

1. Beban diserap pelat dan ditransfer ke perletakan dengan kekuatan geser
2. Perletakan ke *haunch* melalui gaya tekan *pads*
3. *Haunch* menyerap gaya vertikal dari perletakan dengan kekuatan geser dan lentur dari profil baja.
4. Gaya geser vertikal dan lentur diteruskan ke pelat baja melalui titik las.
5. Kolom beton memberikan reaksi terhadap profil baja yang tertanam.

1. Balok beton ke tulangan dengan lekatan/ikatan.
2. Tulangan baja siku di ujung balok diikat dengan las.
3. Baja siku di ujung balok ke *haunch* melalui gesekan di atas dan di bawah *bearing pads*. Sebagian gaya akibat perubahan volume dikurangi dengan adanya deformasi pada *pads*.
4. Sebagian kecil dari gaya akibat perubahan volume dipindahkan melalui las ke pelat baja.
5. Gaya tersebut ditahan oleh perletakan dan diteruskan oleh *stud* ke kolom beton melalui ikatan / lekatan.

4.5.2.2 Klasifikasi Sistem dan Sambungannya

Sistem pracetak didefinisikan dalam dua kategori yaitu lokasi penyambungan dan jenis alat penyambungan:

1. Lokasi penyambungan

Portal daktail dapat dibagi sesuai dengan letak penyambung dan lokasi yang diharapkan terjadi pelelehan atau tempat sendi daktailnya. Simbol-simbol di bawah ini digunakan untuk mengidentifikasi perilaku dan karakteristik pelaksanaannya.

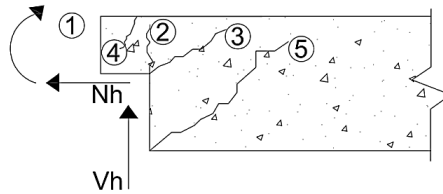
- *Strong*, sambungan elemen-elemen pracetak yang kuat dan tidak akan leleh akibat gempa-gempa yang besar.
- *Sendi*, sambungan elemen-elemen pracetak bila dilihat dari momen akibat beban lateral gempa dapat bersifat sebagai sendi.
- *Daktail*, sambungan elemen-elemen pracetak yang daktail dan berfungsi sebagai pemencar energi.
- Lokasi sendi plastis

2. Jenis alat penyambung

- *Shell pracetak* dengan bagian intinya di cor beton setempat
- *Cold joint* yang diberi tulangan biasa
- *Cold joint* yang diberi tulangan pracetak parsial, dimana joint digROUT.
- *Cold joint* yang diberi tulangan pracetak parsial, dimana joint tidak digROUT.
- *Sambungan-sambungan mekanik*

4.5.2.3 Pola-pola Kehancuran

Sebagian perencanaan diharuskan untuk menguji masing masing pola-pola kehancuran. Pada dasarnya pola kehancuran kritis pada sambungan sederhana akan tampak nyata. Sebagai contoh pada kehancuran untuk sambungan sederhana dapat dilihat pada gambar 4.71

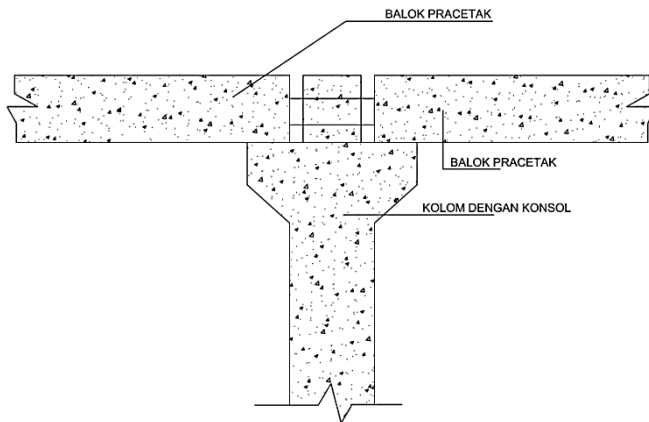


Gambar 4. 71 Model Keruntuhan

PCI desain handbook memberikan 5 pola kehancuran yang harus diselidiki pada waktu perencanaan *dapped-end* dari balok yaitu sebagai berikut:

- 1) Lentur dan gaya tarik aksial pada ujung
- 2) Tarik diagonal yang berasal dari sudut ujung
- 3) Geser langsung antar tonjolan dengan bagian utama balok
- 4) Tarik diagonal pada ujung akhir
- 5) Perletakan pada ujung atau tonjolan

Pada proyek akhir terapan ini penulis merencanakan sistem balok pracetak yang mampu menumpu pada kolom dengan bantuan konsol pendek pada saat proses pencapaian penyambungan sebelum komposit sehingga mencapai kekuatan yang benar-benar monolit (menyatu dan berkesinambungan). Berikut disajikan permodelannya dalam gambar 4.72 berikut ini:



Gambar 4. 72 Model Sambungan Balok pada Konsol Kolom

4.5.3 Penggunaan *Topping* Beton

Penggunaan *topping* beton komposit disebabkan karena berbagai pertimbangan. Tujuan utamanya adalah:

- 1) Untuk menjamin agar lantai beton pracetak dapat bekerja sebagai satu kesatuan diafragma horizontal yang cukup kaku.
- 2) Agar penyebaran atau distribusi beban hidup vertical antar komponen pracetak lebih merata.
- 3) Meratakan permukaan beton karena adanya perbedaan penurunan atau camber mereduksi kebocoran air.

Tebal *topping* umumnya berkisar antara 50 mm sampai 100 mm. Pemindahan sepenuhnya gaya geser akibat beban lateral pada komponen struktur komposit tersebut akan bekerja dengan baik selama tegangan geser horizontal yang timbul tidak melampaui 5,50 kg/cm². Bila tegangan geser tersebut dilampaui, maka *topping* beton tidak boleh dianggap sebagai struktur komposit, melainkan harus dianggap sebagai beban mati yang bekerja pada komponen beton pracetak tersebut. Kebutuhan baja tulangan pada *topping* dalam menampung gaya geser horizontal tersebut dapat direncanakan dengan menggunakan geser friksi (*shear friction concept*).

$$A_{vf} = \frac{V_n}{f_y \times \mu} \geq A_{vf} \text{ min}$$

dimana:

A_{vf} = luas tulangan geser friksi

V_n = luas geser nominal $< 0,2 f_c A_c$ (Newton)

$< 5,5 A_c$ (Newton)

A_c = luas penampang beton yang memikul penyaluran geser

F_y = kuat leleh tulangan

μ = koefisien friksi (1)

$A_{vf} \text{ min} = 0,018 A_c$ untuk baja tulangan mutu $< 400 \text{ Mpa}$

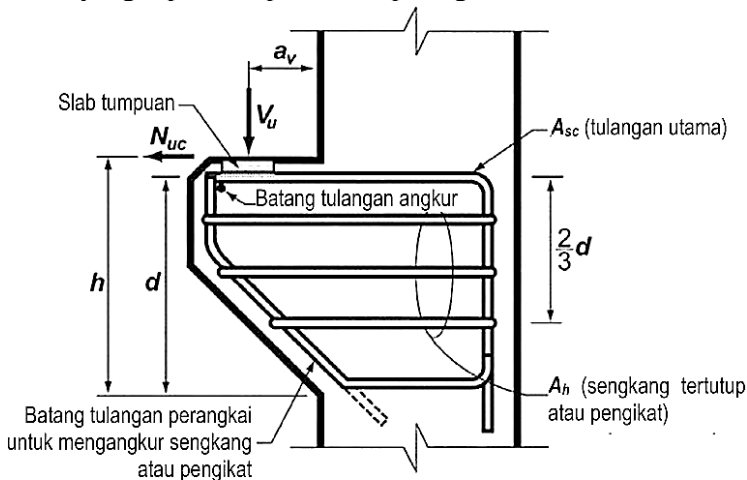
$= 0,018 \times 400/f_y$ untuk tulangan $f_y > 400 \text{ Mpa}$ diukur

pada tegangan leleh 0,35% dalam segala hal tidak boleh kurang dari 0,0014 A_c

4.5.4 Perencanaan Sambungan Balok dan Kolom

4.5.4.1 Perencanaan Konsol pada Kolom

Pada perencanaan sambungan antara balok induk dan kolom dipergunakan sambungan dengan menggunakan konsol pendek. Balok induk diletakan pada konsol yang berada pada kolom yang kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada kolom tersebut mengikuti persyaratanyang diatur dalam SNI-03-2847-2013 Pasal 11.8 mengenai konsol pendek. Bentuk konsol pendek yang dipakai dapat dilihat pada gambar 4.73 berikut ini:



Gambar 4. 73 Geometrik Konsol Pendek

Ketentuan SNI 03 – 2847 – 2013 pasal 11.8 tentang perencanaan konsol pendek yang diatur sebagai berikut:

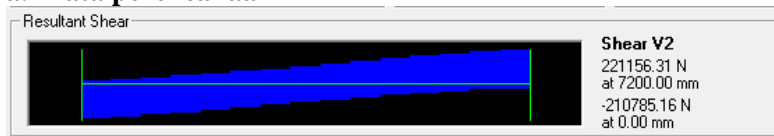
1. Perencanaan konsol pendek dengan rasio bentang geser terhadap tinggi a_v/d tidak lebih besar dari satu, dan dikenai gaya tarik horizontal terfaktor, N_{uc} , tidak lebih besar daripada V_u . Tinggi efektif d harus ditentukan di muka tumpuan
2. Tinggi di tepi luar luas tumpuan tidak boleh kurang dari $0,5d$
3. Penampang di muka tumpuan harus didesain untuk menahan secara bersamaan V_u suatu momen terfaktor $V_{ua} + N_{uc}(h-d)$, dan gaya tarik horizontal terfaktor, N_{uc}

- 1) Dalam semua perhitungan desain yang sesuai dengan SNI 03 – 2847 – 2013 pasal 11.8, \emptyset harus diambil sama dengan 0,75
- 2) Desain tulangan geser-friksi A_{vf} untuk menahan V_u harus sesuai dengan SNI 03 – 2847 – 2013 pasal 11.8:
 - a) Untuk beton berat normal, V_n tidak boleh melebihi yang terkecil dari $0,2f_c' b_w d$, $(3,3+0,08f_c')b_w d$, dan $11 b_w d$.
 - b) Untuk beton ringan atau ringan pasir, V_n tidak boleh diambil lebih besar dari yang lebih kecil dari $\left(0,2 - 0,07 \frac{a}{d}\right) f_c' b_w d$ dan $\left(5,5 - 1,9 \frac{a}{d}\right) b_w d$
 - c) Tulangan A_f untuk menahan momen terfaktor
 - a. $[V_u a_v + N_{uc}(h - d)]$ harus dihitung menurut SNI 03 – 2847 – 2013 pasal 10.2 dan pasal 10.3
 - d) Tulangan A_n untuk menahan gaya Tarik terfaktor N_{uc} harus ditentukan dari $\emptyset A_n f_y \geq N_{uc}$. Gaya tarik terfaktor, N_{uc} tidak boleh diambil kurang dari $0,2V_u$ kecuali bila ketentuan dibuat untuk menghindari gaya Tarik. N_{uc} harus dianggap sebagai beban hidup bahkan bilamana Tarik yang dihasilkan dari kekangan rangkai, susut, atau perubahan suhu.
 - e) Luas tulangan Tarik utama A_{sc} tidak boleh kurang dari yang lebih besar dari $(A_f + A_n)$ dan $\left(\frac{2A_{vf}}{3} + A_n\right)$
4. Luas total A_h , sengkang tertutup atau pengikat parallel terhadap tulangan Tarik utama tidak boleh kurang dari $0,5(A_{sc} - A_n)$. Distribusikan A_h secara merata dalam $(2/3)d$ bersebelahan dengan tulangan tarik utama
5. $\frac{A_{sc}}{bd}$ tidak boleh kurang dari $0,04 \frac{f_{rc}}{f_y}$
6. Pada muka depan konsol pendek, tulangan tarik utama A_s harus diangkur dengan salah satu dari berikut:
 - a) Dengan las struktur pada batang tulangan transversal dengan sedikit berukuran sama; las didesain untuk mengembangkan f_y tulangan Tarik utama

- b) Dengan pembengkokan tulangan tarik utama menjadi bentuk tertutup horizontal atau
 - c) Dengan suatu cara pengankuran baik lainnya
7. Luas tumpuan pada konsol pendek tidak boleh menonjol melampaui bagian lurus batang tulangan tarik utama A_s , ataupun menonjol melampaui muka dalam dari batang tulangan angkur transversal (bila batang tulangan tersebut disediakan)

4.5.4.2 Penulangan Konsol pada Kolom

a. Data perencanaan



Gambar 4. 74 Gaya Geser Balok Induk

Vu output analisis dengan software SAP2000 = 221156,31 N

Dimensi Balok = 50/70

Dimensi Konsol:

bw	= 400 mm
h	= 400 mm
Ø tul. Lentur	= 22 mm
Diameter tul. Geser	= 13 mm
Selimit Beton	= 50 mm
d	= $400 - 50 - (22/2) = 339$ mm
fc'	= 35 MPa
fy	= 400 MPa
av	= 150 mm
φ	= 0,75

Ketentuan yang digunakan dalam perencanaan konsol pendek sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8. Untuk dapat menggunakan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8, maka geometri konsol pendek serta gaya yang terjadi pada konsol pendek tersebut

harus sesuai dengan yang diisyaratkan oleh SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8.1. Syarat tersebut adalah sebagai berikut:

- $a_v/d = 150 / 339 = 0,442 < 1 \dots \text{OK}$
- $N_{uc} \geq 0,2V_u$
 $N_{uc} = 0,2 \times 221156,31 \text{ N} = 44231,262 \text{ N}$

Sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.1, syarat nilai kuat geser V_n untuk beton normal adalah:

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{221156,31}{0,75} = 294875,08 \text{ N}$$

b. Menentukan luas tulangan geser friksi

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8.3.2 (a), untuk beton normal, kuat geser V_n tidak boleh diambil lebih besar daripada:

- a) $0,2 f_c' \times b_w \times d = 0,2 \times 35 \times 400 \times 339$
 $= 949200 \text{ N} > V_n \dots \text{OK}$
- b) $(3,3 + 0,08f_c') b_w d = (3,3 + 0,08 \times 35) 400 \times 339$
 $= 827160 \text{ N} > V_n \dots \text{OK}$
- c) $11 b_w d = 11 \times 400 \times 339$
 $= 1491600 \text{ N} > V_n \dots \text{OK}$

Maka, dimensi konsol mampu menahan geser yang terjadi.

$$\begin{aligned} A_{vf} &= \frac{V_n}{f_y \times \mu} \\ &= \frac{294875,08 \text{ N}}{400 \times 1,4} \\ &= 526,563 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

c. Luas tulangan lentur

Perletakan yang akan digunakan dalam konsol pendek ini adalah sendi-rol yang mengijinkan adanya deformasi arah lateral ataupun horizontal, maka gaya horizontal akibat susut jangka panjang dan deformasi rangka balok tidak boleh terjadi. Maka sesuai dengan SNI 03-2847 pasal 11.8.3.4, akan digunakan N_{uc} minimum.

$$\begin{aligned}
 Mu &= V_{ua} \times a + N_{uc} (h-d) \\
 &= (221156,31 \times 150) + (44231,262 \times (400-339)) \\
 &= 35871553,5 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

$$R_n = \frac{Mu}{0,8 \times b \times d x^2} = \frac{35871553,5}{0,8 \times 400 \times 339^2} = 0,975$$

- Menurut SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3 nilai β_1 ditentukan sebesar:

Tabel 4. 45 Tabel β_1

f'_c (Mpa)	28	35	42
	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
β_1	0,85	0,8	0,75

- Untuk mutu beton $f'_c = 35$ MPa berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3 harga dari β_1 adalah sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,8 + \frac{(30-28)}{(f'_c-28)} \times 0,05 \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,8 + \frac{(30-28)}{(35-28)} \times 0,05 \geq 0,65 = 0,81$$

Dengan demikian maka batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang diisyaratkan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 0,81 \times 35}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0363
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,0361 = 0,0273$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 0,975}{400}} \right) = 0,0025\end{aligned}$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,00350 > 0,0025 < 0,0273 \text{ (**Tidak Memenuhi**)}$$

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 10.5 (3) sebagai alternatif, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

Maka ρ diperbesar 30% $\times \rho = 1,3 \times 0,0025 = 0,0032$

dipakai $\rho = 0,0032$, sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$A_{f1} = \frac{Mu}{0,85 \times \varphi \times f_y \times d}$$

$$A_{f1} = \frac{35871553,5}{0,85 \times 0,75 \times 400 \times 339} = 414,964 \text{ mm}^2$$

$$A_{f2} = \rho \times b \times d$$

$$A_{f2} = 0,0032 \times 400 \times 339$$

$$A_{f2} = 437,165 \text{ mm}^2$$

Jadi dipakai A_f (diambil terkecil) = 414,964 mm²

Tulangan pokok As (Tulangan untuk menahan N_{uc}):

$$A_n = \frac{N_{uc}}{\varphi \times f_y} = \frac{44231,262}{0,75 \times 400} = 147,438 \text{ mm}^2$$

d. Pemilihan tulangan yang digunakan

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.5

$$A_{sc} = A_f + A_n = 414,964 + 147,438 = 562,401 \text{ mm}^2$$

$$A_{sc} = \left(\frac{2 \times A_{vf}}{3} + A_n \right) = \left(\frac{2 \times 526,563}{3} \right) + 147,438 = 498,479 \text{ mm}^2$$

Diambil terbesar $A_{sc} = 562,401 \text{ mm}^2$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.5

$$\frac{A_{sc.min}}{b \times d} \geq 0,04 \frac{f_{c'}}{f_y}$$

$$\frac{562,401}{400 \times 339} \geq 0,04 \frac{35}{400}$$

$$0,004148 \geq 0,0035 \text{ (Memenuhi)}$$

Kebutuhan tulangan lentur:

$$\text{Jumlah tulangan, } n_{\text{tulangan}} = \frac{A_{sc}}{A_s D22}$$

$$= \frac{562,401}{379,94} = 1,480 \approx 5 \text{ buah}$$

$$A_v = 1899,7 \text{ mm}^2 > A_{sc} = 562,401 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai tulangan utama 5D22 ($A_s = 1899,7 \text{ mm}^2$)

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.4 luas total sengkang tertutup tidak boleh kurang dari:

$$A_h = 0,5 (A_{sc} - A_n)$$

$$= 0,5 (562,401 - 147,438)$$

$$= 207,482 \text{ mm}^2$$

Kebutuhan tulangan geser:

$$\text{Jumlah tulangan, } n_{\text{tulangan}} = \frac{A_h}{A_s D13}$$

$$= \frac{207,482}{132,665} = 1,56 \approx 3 \text{ buah}$$

Dipakai tulangan sengkang 3D13 ($A_v = 397,995 \text{ mm}^2$) dan dipasang sepanjang $(2/3) d = 226 \text{ mm}$

Dengan spasi $= \frac{226}{3} = 75,33 \approx 75 \text{ mm}$

e. Luas Pelat Landasan:

$$V_u = \emptyset \times (0,85) \times f_c \times A_l$$

$$A_l = \frac{221156,31}{0,85 \times 35 \times 0,75} = 9911,767 \text{ mm}^2$$

dipakai pelat landasan $300 \times 300 \text{ mm}^2 = 90000 \text{ mm}^2$
(tebal 15 mm)

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 22.5.5, kekuatan tumpu desain beton pada pracetak tidak boleh melebihi:

$$B_n = \emptyset \times 0,85 \times f_c' \text{ (umur 7 hari)} \times A$$

$$B_n = 0,65 \times 0,85 \times (0,7 \times 35 \text{ MPa}) \times 90000$$

$$B_n = 1405687,5 \text{ N}$$

$$B_n > V_u$$

$$1405687,5 \text{ N} > 221156,31 \text{ N (Memenuhi)}$$

Kontrol tegangan beton pada tumpuan, (f_c' umur 7 hari)

$$f_{ci} = 0,7 \times f_c' = 0,7 \times 25 \text{ MPa} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f_{ci}'} = 0,7 \times \sqrt{25} = 3,46 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \frac{V_u}{A} = \frac{221156,31}{90000} = 2,457 \text{ MPa}$$

$$\sigma < f_r$$

$$2,457 \text{ MPa} < 3,46 \text{ MPa (Memenuhi)}$$

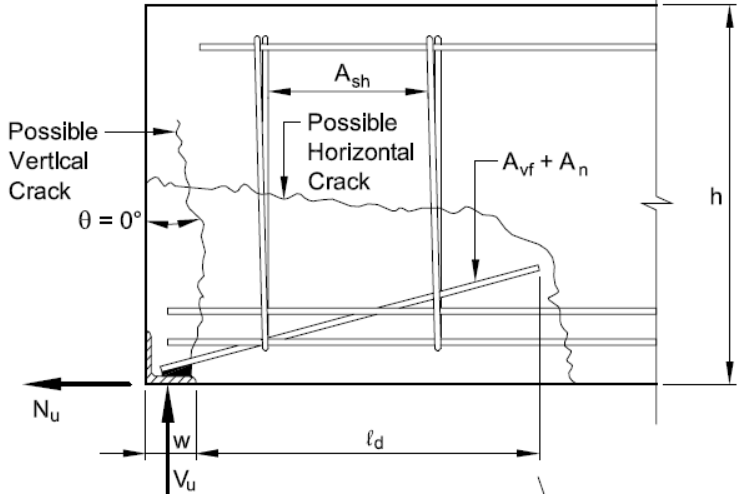
Tabel 4. 46 Rekapitulasi Perhitungan Konsol pada Kolom

Sambungan	Vu	Nuc	Ukuran		Øs	Øh
	(N)	(N)	b (mm)	h (mm)	(mm)	(mm)
Kolom - Balok Induk	221156,31	44231,262	400	400	22	13

Horizontal		n	Sengkan		n
As perlu (mm ²)	As pakai (mm ²)	(buah)	As perlu (mm ²)	As pakai (mm ²)	(buah)
562,401	1899,7	5	207,482	397,995	3

Pelat Landas			
b (mm)	h (mm)	A (mm)	t (mm)
300	300	90000	15

4.5.4.3 Perencanaan Reinforced Concrete Bearing



Gambar 4. 75 Rencana Tulangan pada Balok Induk

Perencanaan penulangan ujung balok induk pada proyek akhir terapan ini didasarkan pada buku *PCI DESIGN HANDBOOK (7th Edition)* section 5.6.2 yaitu tentang *concrete brackets or corbel*. Penulangan *end bearing* berdasarkan analisa geser friksi. Prosedur yang digunakan *PCI* adalah sebagai berikut:

1. Diasumsikan sudut retak vertikal $\phi = 0^\circ$
2. Hitung tulangan horizontal

$$A_t = A_{vf} + A_n = \frac{Vu}{\phi x f_y x \mu e} + \frac{Nu}{\phi x f_y}$$

3. Sudut persamaan adalah 15°
4. Nilai $\mu = 1,4$ $\lambda = 1,4 \times 1 = 1,4$
5. Hitung tulangan sengkang

$$A_{sh} = \frac{(A_{vf} + A_n) x f_y}{\mu e x f_{ys}}$$

Dimana:

$$\mu e = \frac{\phi 1000 \lambda A_{cr} \mu}{Vu}$$

$A_{cr} = l_d \times b$

$b =$ lebar balok

$l_d =$ panjang penyaluran

$f_{ys} =$ mutu baja sengkang

6. Nilai maksimum V_n untuk beton cor monolit, didasarkan dari tabel 4.3.6.1 mengenai *Recommended Shear-Friction Coefficient* pada buku *PCI DESIGN HANDBOOK (6th Edition)*

Tabel 4. 47 Recommended Shear-Friction Coefficient

Crack interface condition	Recommended μ	Maximum μ_s	Maximum $V_u = \phi V_n$
1. Concrete to concrete, cast monolithically	1.4λ	3.4	$0.30\lambda^2 f'_c A_{cr} \leq 1000\lambda^2 A_{cr}$
2. Concrete to hardened concrete, with roughened surface	1.0λ	2.9	$0.25\lambda^2 f'_c A_{cr} \leq 1000\lambda^2 A_{cr}$
3. Concrete to concrete	0.6λ	2.2	$0.20\lambda^2 f'_c A_{cr} \leq 800\lambda^2 A_{cr}$
4. Concrete to steel	0.7λ	2.4	$0.20\lambda^2 f'_c A_{cr} \leq 800\lambda^2 A_{cr}$

Penentuan L_d dari *design aids 15.4.4 PCI DESIGN HANDBOOK (7th Edition)* seperti pada tabel berikut:

Tabel 4. 48 Required Development Lengths

Bar Size	$f'_c = 3000 \text{ psi}$				$f'_c = 4000 \text{ psi}$				$f'_c = 5000 \text{ psi}$				$f'_c = 6000 \text{ psi}$				Min. Comp. Splice
	Tension			Com- pres- sion	Tension			Com- pres- sion	Tension			Com- pres- sion	Min. Comp. Splice				
	ℓ_d	$1.3\ell_d$	$1.5\ell_d$		ℓ_d	$1.3\ell_d$	$1.5\ell_d$		ℓ_d	$1.3\ell_d$	$1.5\ell_d$			ℓ_d	$1.3\ell_d$	$1.5\ell_d$	
3	16	21	25	8	14	18	21	8	13	17	19	8	12	15	17	8	12
4	22	28	33	11	19	25	28	9	17	22	25	9	15	20	23	9	15
5	27	36	41	14	24	31	36	12	21	28	32	11	19	25	29	11	19
6	33	43	49	16	28	37	43	14	25	33	38	14	23	30	35	14	23
7	48	62	72	19	42	54	62	17	37	48	56	16	34	44	51	16	26
8	55	71	82	22	47	62	71	19	42	55	64	18	39	50	58	18	30
9	62	80	93	25	54	70	80	21	48	62	72	20	44	57	66	20	34
10	70	90	104	28	60	78	90	24	54	70	81	23	49	64	74	23	38
11	77	100	116	31	67	87	100	27	60	78	90	25	55	71	82	25	42

Digunakan tulangan D13 (#4)

$$f'_c = 5000 \text{ psi} = 35 \text{ MPa}$$

$$L_d = 17 \text{ in} = 432 \text{ mm}$$

$$b = 500 \text{ mm} = 19,685 \text{ in}$$

$$A_{cr} = L_d \times b$$

$$= 17 \text{ in} \times 19,685 \text{ in}$$

$$= 334,645 \text{ in}^2$$

$$\lambda = 1$$

$$\mu = 1,4$$

$$f_{ys} = 400 \text{ MPa} = 58015,1 \text{ lb/in}^2$$

$$V_u = 221,156 \text{ kN} = 49.7178 \text{ kip}$$

$$\mu e = \frac{\phi 1000 \lambda A_{cr} \mu}{V_u}$$

$$\mu e = \frac{0,75 \times 1000 \times 1 \times 334,645 \times 1,4}{49717,8}$$

$$\mu e = 7,067$$

$$\mu e < \mu e_{\max}$$

$$7,067 > 3,4$$

Maka digunakan $\mu e = 3,4$

Perhitungan tulangan horizontal (A_t)

$$A_t = A_{vf} + A_n$$

$$A_t = \frac{Vu}{\phi \times fy \times \mu e} + \frac{Nu}{\phi \times fy}$$

$$A_t = \frac{221156,31}{0,75 \times 400 \times 3,4} + \frac{44231,262}{0,75 \times 400}$$

$$A_t = 364,257 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 3D13 dengan $A_s = 397,995 \text{ mm}^2$

$$A_s = 397,995 \text{ mm}^2 > A_t = 364,257 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Perhitungan sengkang A_{sh}

$$A_{sh} = \frac{(A_{vf} + A_n) \times fy}{\mu e \times fys}$$

$$A_{sh} = \frac{(364,257) \times 400}{3,4 \times 400}$$

$$A_{sh} = 107,135 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 2D13 dengan $A_s = 265,33 \text{ mm}^2$

$$A_s = 265,33 \text{ mm}^2 > A_{sh} = 107,135 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

4.5.4.4 Persyaratan Sambungan Balok Kolom SRPMK

Berdasarkan Pasal 21.8.2 SNI 03-2847:2013 rangka momen khusus dengan sambungan daktail yang dibangun menggunakan beton pracetak harus memenuhi (a) dan (b) dan semua persyaratan untuk rangka momen khusus yang dibangun dengan beton cor setempat:

- a) V_n untuk sambungan yang dihitung menurut Pasal 11.6.4 tidak boleh kurang dari $2V_e$, dimana V_e dihitung menurut Pasal 21.5.4.1 atau 21.6.5.1

V_e diperoleh dari V_{sway} yang dihitung berdasarkan M_{pr} balok

$$\begin{aligned}V_e (-) &= 3,534 \text{ kN} \\V_e (+) &= 445,846 \text{ kN} \\2V_e &= 2 \times 445,846 \text{ kN} \\2V_e &= 891,692 \text{ kN}\end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.6.4.2, untuk menentukan V_n pada konsol akibat geser friksi dengan tulangan miring, yaitu:

$$\begin{aligned}V_n &= A_{vf} \times f_y (\mu \sin \alpha + \cos \alpha) \\ \text{Dicoba tulangan 5D22 } (A_s &= A_{vf} = 1899.7 \text{ mm}^2) \\ \mu &= 1,4 \text{ (koefisien friksi)} \\ V_n &= A_{vf} \times f_y (\mu \sin \alpha + \cos \alpha) \\ V_n &= 2453.125 \times 400 (1,4 \sin 0 + \cos 0) \\ V_n &= 1063832 \text{ N} \\ V_n &= 1063,83 \text{ kN} \\ V_n &> 2V_e \\ 1063,83 \text{ kN} &> 891,692 \text{ kN (Memenuhi)}\end{aligned}$$

- b) Sambungan mekanis tulangan beton harus ditempatkan tidak lebih dari h / dari muka joint dan harus memenuhi persyaratan dari pasal 21.1.6.

4.5.4.5 Perhitungan Sambungan Balok Kolom

Sistem sambungan antara balok dengan kolom pada perencanaan memanfaatkan panjang penyaluran dengan tulangan balok, terutama tulangan pada bagian atas yang nantinya akan dijangkarkan atau dikaitkan ke bawah.

Panjang penyaluran diasumsikan menerima tekan dan juga menerima tarik, sehingga dalam perencanaan dihitung dalam dua kondisi, yaitu kondisi tarik dan kondisi tekan.

a. Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.2 maka :

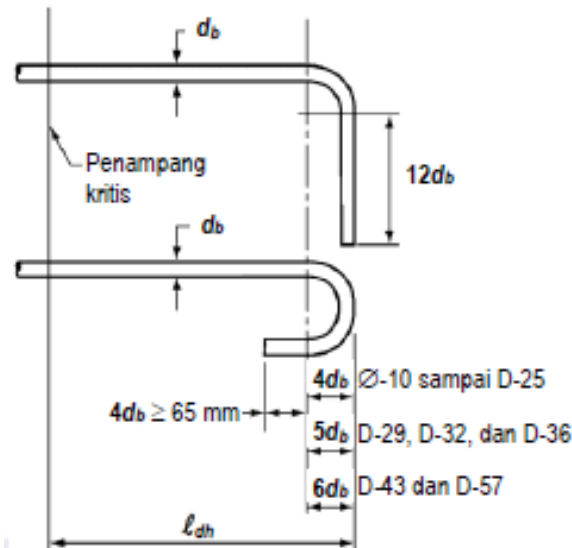
$$\begin{aligned}\ell_{dc} &\geq (0,24 f_y / \lambda \sqrt{f'_c}) d b \\ &\geq (0,24 \times 400 / 1 \sqrt{35}) 22 \\ &\geq 356,993 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \ell_{dc} &\geq (0,043 f_y) d_b \\
 &\geq (0,043 \times 400) 22 \\
 &\geq 378 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai $\ell_d = 378 \approx 390 \text{ mm}$.

b. Panjang Penyaluran Kait Standar Dalam Tarik

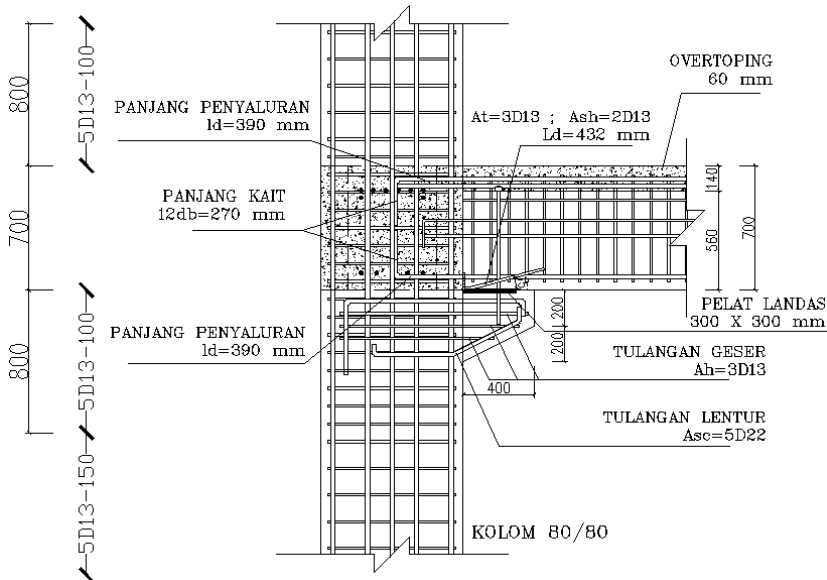
Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.1 panjang penyaluran dalam kondisi tarik dengan kait standar harus ditentukan sebagai berikut:



Gambar 4. 76 Detail Batang Tulangan Dengan Kait Standar

- $\ell_{dh} \geq 8 d_b = 8 \times 22 = 176 \text{ mm}$
- $\ell_{dh} \geq 150 \text{ mm}$
- $\ell_{dh} = (0,24 \psi_e f_y / \lambda \sqrt{f'_c}) d_b$
 $= (0,24 \times 1 \times 400 / 1 \times \sqrt{35}) \times 22 = 356,993 \approx 360 \text{ mm}$

Maka dipakai $\ell_{dh} = 360$ mm dengan bengkokan minimum panjang penyaluran yang masuk kedalam kolom dengan panjang kait standar 90° sebesar $12\ db = 12 \times 22 = 270$ mm



Gambar 4. 77 Panjang Penyaluran Balok Induk

4.5.4.6 Perhitungan Kuat Angkur Baut Ke Beton

Dalam sambungan konsol kolom dengan balok induk dipasang angkur baut untuk menghindari hal-hal yang tidak diinginkan pada saat pemasangan elemen balok pracetak. Desain sambungan harus mampu menahan gaya aksial yang terjadi di balok.

Dari pembahasan struktur balok induk sebelumnya, didapat gaya aksial dan geser dari analisa SAP 2000 v14

$N_u = 15,439$ kN

- Data perencanaan:

Berdasarkan SNI 1729-2015 tabel J3.1M dan J3.2, direncanakan baut A325 dengan ukuran M20. Berikut data perencanaan sambungan baut:

$d_b = 20 \text{ mm}$

$A_b = 314,15 \text{ mm}^2$

$f_{ub} = 830 \text{ MPa}$

$f_{yb} = 620 \text{ MPa}$

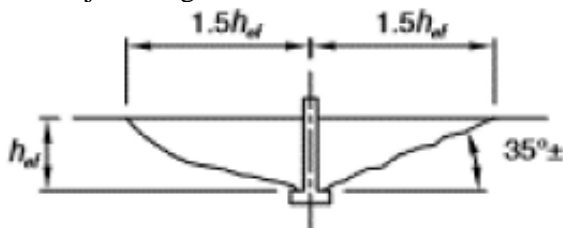
Mutu baja: $f_y = 400 \text{ MPa}$

$f_u = 560 \text{ MPa}$

Mutu beton (f_c') = 35 MPa

Kedalaman (h_{ef}) = 160 mm

- Menentukan jarak angkur:



Gambar 4. 78 Jarak Angkur pada Konsol Kolom

$$Ca1 = 1,5 h_{ef} = 1,5 \times 160 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

$$Ca2 = 200 \text{ mm}$$

a. Kuat baut angkur terhadap gaya tarik

Menurut SNI 2847:2013 Pasal D.5.1.2, dijelaskan gaya tarik pada angkur harus lebih kecil dari kekuatan nominal angkur.

Baut angkur, $\varnothing_{\text{baut}} = 20 \text{ mm} \approx \frac{3}{4} \text{ in}$, $A_{SE,N} = 0,441 \text{ in}^2 = 314,159 \text{ mm}^2$ (Wiryanto, 2016)

$$N_{sa} = A_{SE,N} \times f_u$$

$$= 314,159 \times 830 \text{ MPa}$$

$$= 260752 \text{ N}$$

$$= 260,752 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}\emptyset N_{sa} &= 0,75 \times 260,752 \\ &= 195,563 \text{ kN}\end{aligned}$$

b. Kuat jebol (*breakout*) beton terhadap tarik

Menurut SNI 2847:2013 D.5.2.2, kekuatan nominal kuat jebol beton terhadap tarik yaitu:

$$N_{cb} = \frac{A_{NC}}{A_{NCO}} \Psi_{ed,N} \times \Psi_{c,N} \times \Psi_{cp,N} \times N_b$$

Dimana:

$$\Psi_{ed,N} = 1 \text{ (untuk } ca1 \geq 1,5 \text{ hef)}$$

$$\Psi_{c,N} = 1,25 \text{ (untuk angkur cor)}$$

$$\Psi_{cp,N} = 1$$

$$k_c = 10 \text{ (untuk angkur cor di dalam)}$$

$$\lambda_a = \lambda = 1$$

Posisi angkur dari ujung tepi kolom beton ($ca1$) = 240 mm

$$A_{NCO} = 9\text{hef}^2 = 9 \times (160)^2 = 230400 \text{ mm}^2$$

$$A_{NC} = ca1 \times ca2 = 240 \times 200 = 48000 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{NC}}{A_{NCO}} = 0,2$$

$$\begin{aligned}N_b &= k_c \lambda_a \sqrt{f'c'} \text{ hef}^{1,5} \\ &= 10 \times 1 \times \sqrt{35} \text{ } 160^{1,5} \\ &= 119733 \text{ N} \\ &= 119,733 \text{ kN}\end{aligned}$$

Baut angkur tunggal

$$\begin{aligned}N_{cb} &= \frac{A_{NC}}{A_{NCO}} \Psi_{ed,N} \times \Psi_{c,N} \times \Psi_{cp,N} \times N_b \\ &= 0,2 \times 1 \times 1,25 \times 1 \times 119,733 \\ &= 29,93 \text{ kN}\end{aligned}$$

c. Kuat cabut (*pullout*) baut angkur dari beton

Menurut SNI 2847:2013 D.5.3.4, kekuatan nominal cabut dalam kondisi tarik dari baut berkait tunggal seperti berikut:

$$\Psi_{c,p} = 1$$

Baut angkur, $\emptyset_{\text{baut}} = 20 \text{ mm} \approx \frac{3}{4} \text{ in}$, $A_{SE,N} = 0,441 \text{ in}^2 = 314,159 \text{ mm}^2$ (Wiryanto, 2016)

$$\begin{aligned}
 N_p &= 8 A_{brg} f_c' \\
 &= 8 \times 314,159 \times 35 \\
 &= 87964 \text{ N} \\
 &= 87,96 \text{ kN} \\
 \phi N_{pn} &= \phi \Psi_{c,p} N_p \\
 &= 0,75 \times 1 \times 87,96 \\
 &= 65,97 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

d. Kuat ambrol muka tepi (*sideface blowout*) beton dari tarik

Menurut SNI 2847:2013 D.5.4.1, kekuatan nominal ambrol beton dari tepi terdekat terhadap tarik yaitu:

$$\begin{aligned}
 N_{sb} &= (13 \text{ cal } \sqrt{A_{brg}}) \lambda_a \sqrt{f_c'} \\
 \text{Baut angkur, } \phi \text{ baut} &= 20 \text{ mm} \approx \frac{3}{4} \text{ in, } A_{SE,N} = 0,441 \text{ in}^2 = 314,159 \text{ mm}^2 \text{ (Wiryanto, 2016)} \\
 N_{sb} &= (13 \text{ cal } \sqrt{A_{brg}}) \lambda_a \sqrt{f_c'} \\
 &= (13 \text{ cal } \sqrt{314,159}) 1 \sqrt{35} \\
 &= 327162 \text{ N} \\
 &= 327,162 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

e. Rangkuman kuat batas baut terhadap tarik

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat tarik baut angkur} &= 195,563 \text{ kN} \\
 \text{Kuat jebol beton} &= 19,93 \text{ kN (Menentukan)} \\
 \text{Kuat cabut angkur} &= 65,97 \text{ kN} \\
 \text{Kuat ambrol muka tepi beton} &= 327,162 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi N_n &\geq N_n \\
 29,93 \text{ kN} &\geq 15,439 \text{ kN (Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Jadi digunakan angkur baut tunggal M20 mutu A325

4.5.4.7 Kontrol Tarik Sambungan Coupler

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 12.14.3.2, sambungan mekanis penuh harus mengembangkan tarik atau tekan seperti diisyaratkan, paling sedikit 1,25 f_y baja tulangan

Berdasarkan brosur didapat informasi seperti berikut:

f_y Coupler = 600 MPa

f_y tulangan = 400 MPa

Sehingga, $1,25 f_y < f_y$ Coupler

$1,25 \times 400 < 600 \text{ MPa}$

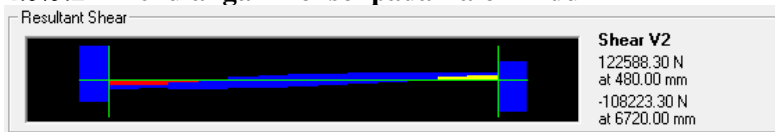
$500 \text{ MPa} < 600 \text{ MPa}$ (Memenuhi)

4.5.5 Perencanaan Sambungan Balok Induk dan Balok Anak

4.5.5.1 Perencanaan Konsol pada Balok Induk

Pada perencanaan sambungan antara balok induk dan balok anak dipergunakan sambungan dengan menggunakan konsol pendek. Balok anak diletakan pada konsol yang berada pada balok induk yang kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada balok induk tersebut tersebut mengikuti persyaratan yang diatur dalam SNI-03-2847-2013 Pasal 11.8 mengenai konsol pendek.

4.5.5.2 Penulangan Konsol pada Balok Induk



Gambar 4. 79 Gaya Geser Balok Anak

a. Data perencanaan

V_u pada balok anak = 122588,30 N

Dimensi Balok Anak = 30/50

Dimensi Konsol:

b_w = 200 mm

h = 200 mm

\emptyset tul. Lentur = 19 mm

Diameter tul. Geser = 13 mm

Selimut Beton = 50 mm

$$\begin{aligned}
 d &= 200 - 50 - (19/2) = 140,5 \text{ mm} \\
 f_c' &= 35 \text{ MPa} \\
 f_y &= 400 \text{ MPa} \\
 a_v &= 100 \text{ mm} \\
 \phi &= 0,75
 \end{aligned}$$

Ketentuan yang digunakan dalam perencanaan konsol pendek sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8. Untuk dapat menggunakan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8, maka geometri konsol pendek serta gaya yang terjadi pada konsol pendek tersebut harus sesuai dengan yang diisyaratkan oleh SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8.1. Syarat tersebut adalah sebagai berikut:

- $a_v/d = 100 / 140,5 = 0,712 < 1 \dots \text{OK}$
- $N_{uc} \geq 0,2V_u$
 $N_{uc} = 0,2 \times 122588,30 = 24517,660 \text{ N}$

Sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.1, syarat nilai kuat geser V_n untuk beton normal adalah

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{122588,30}{0,75} = 163451,07 \text{ N}$$

b. Menentukan luas tulangan geser friksi

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8.3.2 (a), untuk beton normal, kuat geser V_n tidak boleh diambil lebih besar daripada:

- a) $0,2 f_c' \times b_w \times d = 0,2 \times 35 \times 200 \times 140,5$
 $= 196700 \text{ N} > V_n \dots \dots \dots \text{OK}$
- b) $(3,3 + 0,08f_c') b_w d = (3,3 + 0,08 \times 35) 200 \times 140,5$
 $= 171410 \text{ N} > V_n \dots \dots \dots \text{OK}$
- c) $11 b_w d = 11 \times 200 \times 140,5$
 $= 309100 \text{ N} > V_n \dots \dots \dots \text{OK}$

$$\begin{aligned}
 A_{vf} &= \frac{V_n}{f_y \times \mu} \\
 &= \frac{163451,07}{400 \times 1,4} \\
 &= 291,877 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

c. Luas tulangan lentur

Perletakan yang akan digunakan dalam konsol pendek ini adalah sendi-rol yang mengijinkan adanya deformasi arah lateral ataupun horizontal, maka gaya horizontal akibat susut jangka panjang dan deformasi rangka balok tidak boleh terjadi. Maka sesuai dengan SNI 03-2847 pasal 11.8.3.4, akan digunakan Nuc minimum.

$$\begin{aligned}
 Mu &= V_{ua} \times a + N_{uc} (h-d) \\
 &= (122588,30 \times 100) + (24517,660 \times (200-140,5)) \\
 &= 13717630,77 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

$$R_n = \frac{Mu}{0,8 \times b \times d x^2} = \frac{13717630,77}{0,8 \times 200 \times 140,5^2} = 4,343$$

- Menurut SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3 nilai β_1 ditentukan sebesar:

Tabel 4. 49 Tabel β_1

f'_c (Mpa)	28 (Mpa)	35 (Mpa)	42 (Mpa)
β_1	0,85	0,8	0,75

- Untuk mutu beton $f'_c = 35$ MPa berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3 harga dari β_1 adalah sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,8 + \frac{(30-28)}{(f'_c-28)} \times 0,05 \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,8 + \frac{(30-28)}{(35-28)} \times 0,05 \geq 0,65 = 0,81$$

Dengan demikian maka batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang diisyaratkan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,81 \times 35}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0363\end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,0361 = 0,0273$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 4,343}{400}} \right) = 0,0118\end{aligned}$$

$$\text{Syarat: } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,00350 < 0,0118 < 0,0273 \text{ (**Memenuhi**)}$$

dipakai $\rho_{\text{perlu}} = 0,0118$ sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$A_{f1} = \frac{Mu}{0,85 \times \phi \times f_y \times d}$$

$$A_{f1} = \frac{13717630,770}{0,85 \times 0,75 \times 400 \times 140,5} = 382,88 \text{ mm}^2$$

$$A_{f2} = \rho \times b \times d$$

$$A_{f2} = 0,0118 \times 200 \times 140,5$$

$$A_{f2} = 331,379 \text{ mm}^2$$

Jadi dipakai A_f (diambil terkecil) = 331,379 mm²

Tulangan pokok A_s :

$$A_n = \frac{N_{uc}}{\phi \times f_y} = \frac{24517,660}{0,75 \times 400} = 81,726 \text{ mm}^2$$

f. Pemilihan tulangan yang digunakan

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.5

$$A_{sc} = A_f + A_n = 331,379 + 81,726 = 413,105 \text{ mm}^2$$

$$A_{sc} = \left(\frac{2 \times A_{vf}}{3} + A_n \right) = \left(\frac{2 \times 291,877}{3} \right) + 81,726 = 276,310 \text{ mm}^2$$

Diambil terbesar $A_{sc} = 413,105 \text{ mm}^2$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.5

$$\frac{A_{sc.min}}{b \times d} \geq 0,04 \frac{f_{c'}}{f_y}$$

$$\frac{413,105}{200 \times 140,5} \geq 0,04 \frac{35}{400}$$

$$0,0147 \geq 0,0035 \text{ (Memenuhi)}$$

Kebutuhan tulangan lentur:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_{sc}}{A_{sD19}} \\ &= \frac{413,105}{283,385} = 1,458 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$A_v = 566,70 \text{ mm}^2 > A_{sc} = 413,105 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai tulangan utama 2D19 ($A_s = 566,70 \text{ mm}^2$)

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.4 luas total sengkang tertutup tidak boleh kurang dari:

$$\begin{aligned} A_h &= 0,5 (A_{sc} - A_n) \\ &= 0,5 (413,105 - 81,726) \\ &= 165,690 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kebutuhan tulangan geser:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_h}{A_{sD13}} \\ &= \frac{165,690}{132,665} = 1,25 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipakai tulangan sengkang 2D13 ($A_v = 265,330 \text{ mm}^2$) dan dipasang sepanjang $(2/3) d = 93,667 = 90 \text{ mm}$

$$\text{Dengan spasi} = \frac{93,667}{2} = 46,83 \approx 45 \text{ mm}$$

d. Luas pelat landasan:

$$V_u = \emptyset \times (0,85) \times f_c \times A_l$$

$$A_l = \frac{122588,3}{0,85 \times 35 \times 0,75} = 5494,154 \text{ mm}^2$$

dipakai pelat landasan $190 \times 190 \text{ mm}^2 = 36100 \text{ mm}^2$ (tebal 15 mm)

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 22.5.5, kekuatan tumpu desain beton pada pracetak tidak boleh melebihi:

$$B_n = \emptyset \times 0,85 \times f_c' \text{ (umur 7 hari)} \times A$$

$$B_n = 0,65 \times 0,85 \times (0,7 \times 35 \text{ MPa}) \times 36100$$

$$B_n = 563836,88 \text{ N}$$

$$B_n > V_u$$

$$563836,88 \text{ N} > 122588,3 \text{ N (Memenuhi)}$$

Kontrol tegangan beton pada tumpuan, (f_c' umur 7 hari)

$$f_{ci} = 0,7 \times f_c' = 0,7 \times 25 \text{ MPa} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f_{ci}'} = 0,7 \times \sqrt{25} = 3,46 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \frac{Vu}{A} = \frac{122588,3}{36100} = 3,396 \text{ MPa}$$

$$\sigma < f_r$$

$$3,396 \text{ MPa} < 3,46 \text{ MPa} \text{ (Memenuhi)}$$

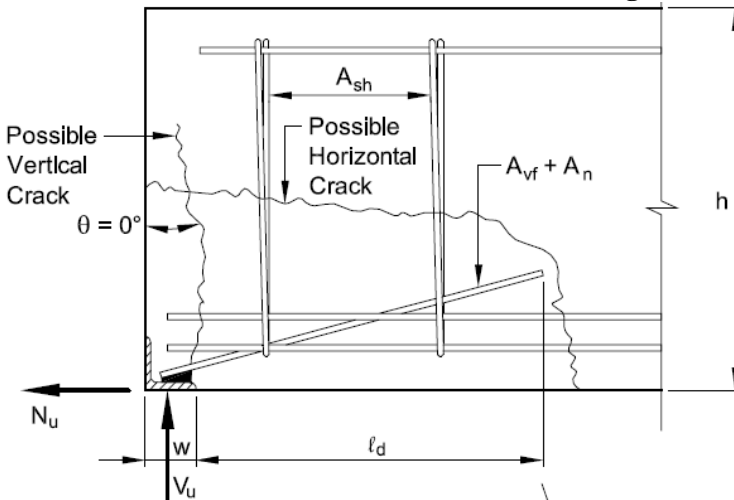
Tabel 4. 50 Rekapitulasi Perhitungan Konsol pada Balok Induk

Sambungan	Vu	Nuc	Ukuran		Øs	Øh
	(N)	(N)	b (mm)	h (mm)	(mm)	(mm)
Balok Induk – Balok Anak	122588,3	24517,660	200	200	19	13

Horizontal		n	Sengkan		n
As perlu (mm ²)	As pakai (mm ²)	(buah)	As perlu (mm ²)	As pakai (mm ²)	(buah)
413,105	566,770	2	164,690	256,330	2

Pelat Landas			
b (mm)	h (mm)	A (mm)	t (mm)
190	190	36100	15

4.5.5.3 Perencanaan Reinforced Concrete Bearing



Gambar 4. 80 Rencana Tulangan pada Balok Anak

Perencanaan penulangan ujung balok anak pada proyek akhir terapan ini didasarkan pada buku *PCI DESIGN HANDBOOK* (7th Edition) section 5.6.2 yaitu tentang *concrete brackets or corbel*. Penulangan *end bearing* berdasarkan analisa geser friksi. Prosedur yang digunakan *PCI* adalah sebagai berikut:

1. Diasumsikan sudut retak vertikal $\phi = 0^\circ$
2. Hitung tulangan horizontal

$$A_t = A_{vf} + A_n = \frac{Vu}{\phi \times fy \times \mu e} + \frac{Nu}{\phi \times fy}$$

3. Sudut persamaan adalah 15°
4. Nilai $\mu = 1,4$ $\lambda = 1,4 \times 1 = 1,4$
5. Hitung tulangan sengkang

$$A_{sh} = \frac{(A_{vf} + A_n) \times fy}{\mu e \times fys}$$

Dimana:

$$\mu e = \frac{\phi \times 1000 \times \lambda \times A_{cr} \times \mu}{Vu}$$

A_{cr} = $l_d \times b$
 b = lebar balok
 l_d = panjang penyaluran
 f_{ys} = mutu baja sengkang

6. Nilai maksimum V_n untuk beton cor monolit, didasarkan dari tabel 4.3.6.1 mengenai *Recommended Shear-Friction Coefficient* pada buku *PCI DESIGN HANDBOOK (6th Edition)*

Tabel 4. 51 Recommended Shear-Friction Coefficient

Crack interface condition	Recommended μ	Maximum μ_s	Maximum $V_u = \phi V_n$
1. Concrete to concrete, cast monolithically	1.4λ	3.4	$0.30\lambda^2 f'_c A_{cr} \leq 1000\lambda^2 A_{cr}$
2. Concrete to hardened concrete, with roughened surface	1.0λ	2.9	$0.25\lambda^2 f'_c A_{cr} \leq 1000\lambda^2 A_{cr}$
3. Concrete to concrete	0.6λ	2.2	$0.20\lambda^2 f'_c A_{cr} \leq 800\lambda^2 A_{cr}$
4. Concrete to steel	0.7λ	2.4	$0.20\lambda^2 f'_c A_{cr} \leq 800\lambda^2 A_{cr}$

Penentuan l_d dari *design aids 15.4.4 PCI DESIGN HANDBOOK (7th Edition)* seperti pada tabel berikut:

Tabel 4. 52 Required Development Lengths

Bar Size	$f'_c = 3000 \text{ psi}$				$f'_c = 4000 \text{ psi}$				$f'_c = 5000 \text{ psi}$				$f'_c = 6000 \text{ psi}$				Min. Comp. Splice
	Tension			Com-pres-sion	Tension			Com-pres-sion	Tension			Com-pres-sion	Tension			Com-pres-sion	
	ℓ_d	$1.3\ell_d$	$1.5\ell_d$	ℓ_d	ℓ_d	$1.3\ell_d$	$1.5\ell_d$	ℓ_d	ℓ_d	$1.3\ell_d$	$1.5\ell_d$	ℓ_d	ℓ_d	$1.3\ell_d$	$1.5\ell_d$	ℓ_d	
3	16	21	25	8	14	18	21	8	13	17	19	8	12	15	17	8	12
4	22	28	33	11	19	25	28	9	17	22	25	9	15	20	23	9	15
5	27	36	41	14	24	31	36	12	21	28	32	11	19	25	29	11	19
6	33	43	49	16	28	37	43	14	25	33	38	14	23	30	35	14	23
7	48	62	72	19	42	54	62	17	37	48	56	16	34	44	51	16	26
8	55	71	82	22	47	62	71	19	42	55	64	18	39	50	58	18	30
9	62	80	93	25	54	70	80	21	48	62	72	20	44	57	66	20	34
10	70	90	104	28	60	78	90	24	54	70	81	23	49	64	74	23	38
11	77	100	116	31	67	87	100	27	60	78	90	25	55	71	82	25	42

Digunakan tulangan D13 (#4)

f'_c = 5000 psi = 35 MPa

l_d = 17 in = 432 mm

b = 300 mm = 11,81 in

A_{cr} = $l_d \times b$

= 17 in x 11,81 in

= 200,77 in²

$$\begin{aligned}
 \lambda &= 1 \\
 \mu &= 1,4 \\
 f_{ys} &= 400 \text{ MPa} = 58015,1 \text{ lb/in}^2 \\
 V_u &= 121,550 \text{ kN} = 27,3255 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mu e &= \frac{\phi 1000 \lambda A_{cr} \mu}{V_u} \\
 \mu e &= \frac{0,75 \times 1000 \times 1 \times 200,77 \times 1,4}{27325,5} \\
 \mu e &= 7,715
 \end{aligned}$$

$$\mu e > \mu e_{\max}$$

$$7,715 > 3,4$$

Maka digunakan $\mu e = 3,4$

Perhitungan tulangan horizontal (A_t)

$$A_t = A_{vf} + A_n$$

$$A_t = \frac{V_u}{\phi x f_y x \mu e} + \frac{N_u}{\phi x f_y}$$

$$A_t = \frac{122588,3}{0,75 \times 400 \times 3,4} + \frac{24517,660}{0,75 \times 400}$$

$$A_t = 201,9 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 2D13 dengan $A_s = 265,33 \text{ mm}^2$

$A_s = 265,33 \text{ mm}^2 > A_t = 201,9 \text{ mm}^2$ (Memenuhi)

Perhitungan sengkang A_{sh}

$$A_{sh} = \frac{(A_{vf} + A_n) x f_y}{\mu e x f_{ys}}$$

$$A_{sh} = \frac{(201,9) x 400}{3,4 x 400}$$

$$A_{sh} = 59,385 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 2D13 dengan $A_s = 265,33 \text{ mm}^2$
 $A_s = 265,33 \text{ mm}^2 > A_{sh} = 58,882 \text{ mm}^2$ (Memenuhi)

4.5.5.4 Perhitungan Sambungan Balok Induk dan Balok Anak

Sistem sambungan antara balok induk dengan balok anak pada perencanaan ini memanfaatkan panjang penyaluran dengan tulangan balok anak, terutama tulangan pada bagian atas yang nantinya akan dijangkarkan atau dikaitkan ke bawah.

Panjang penyaluran diasumsikan menerima tekan dan juga menerima tarik, sehingga dalam perencanaan dihitung dalam dua kondisi, yaitu kondisi tarik dan kondisi tekan.

a. Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.2 maka :

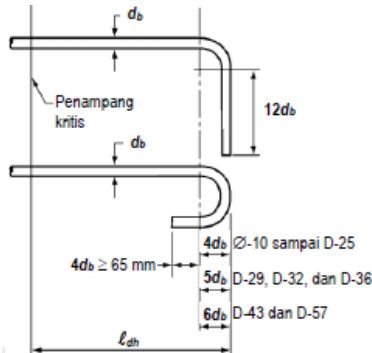
$$\begin{aligned} \ell_{dc} &\geq (0,24fy/\lambda\sqrt{f'c})db \\ &\geq (0,24 \times 400/1\sqrt{35})19 \\ &\geq 308,312 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ell_{dc} &\geq (0,043fy)db \\ &\geq (0,043 \times 400)19 \\ &\geq 327 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai $\ell_d = 327 \approx 330 \text{ mm}$.

b. Panjang penyaluran kait standar dalam tarik

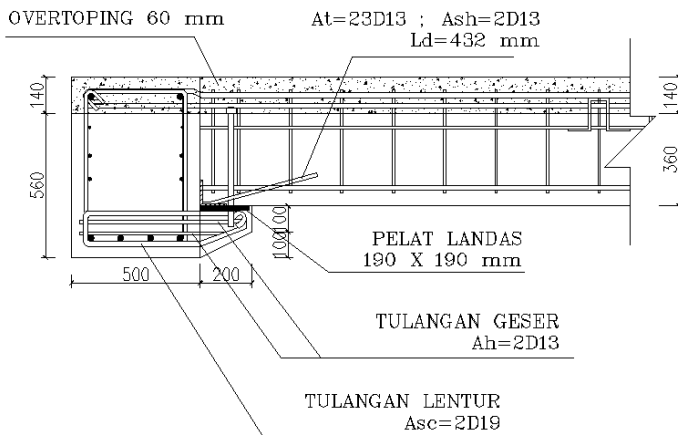
Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.1 panjang penyaluran dalam kondisi tarik dengan kait standar harus ditentukan sebagai berikut:



Gambar 4. 81 Detail batang tulangan dengan kait standar

- $l_{dh} \geq 8 d_b = 8 \times 19 = 152 \text{ mm}$
- $l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$
- $l_{dh} = (0,24 \psi_e f_y / \lambda \sqrt{f'c}) d_b$
 $= (0,24 \times 1 \times 400 / 1 \times \sqrt{35}) \times 19 = 308,312 \text{ mm}$

Maka dipakai $l_{dh} = 308,312 \approx 310 \text{ mm}$ dengan bengkokan minimum panjang penyaluran yang masuk kedalam kolom dengan panjang kait standar 90° sebesar $12 d_b = 12 \times 19 = 228 \approx 230 \text{ mm}$



Gambar 4. 82 Panjang Penyaluran Balok Anak

4.5.5.5 Perhitungan Kuat Angkur Baut Ke Beton

Dalam sambungan konsol kolom dengan balok induk dipasang angkur baut untuk menghindari hal-hal yang tidak diinginkan pada saat pemasangan elemen balok pracetak. Desain sambungan harus mampu menahan gaya aksial yang terjadi di balok.

Dari pembahasan struktur balok induk sebelumnya, didapat gaya aksial dan geser dari analisa SAP 2000 v14

$N_u = 11,295 \text{ kN}$

- Data perencanaan:

Berdasarkan SNI 1729-2015 tabel J3.1M dan J3.2, direncanakan baut A325 dengan ukuran M20. Berikut data perencanaan sambungan baut:

$d_b = 20 \text{ mm}$

$A_b = 314,15 \text{ mm}^2$

$f_{ub} = 830 \text{ MPa}$

$f_{yb} = 620 \text{ MPa}$

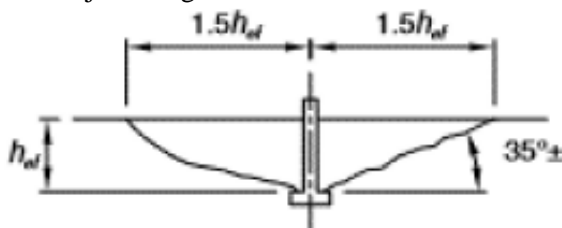
Mutu baja: $f_y = 400 \text{ MPa}$

$f_u = 560 \text{ MPa}$

Mutu beton (f_c') = 35 MPa

Kedalaman (h_{ef}) = 160 mm

- Menentukan jarak angkur:



Gambar 4. 83 Jarak Angkur pada Konsol Kolom

$Ca1 = 1,5 h_{ef} = 1,5 \times 160 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$

$Ca2 = 200 \text{ mm}$

a. Kuat baut angkur terhadap gaya tarik

Menurut SNI 2847:2013 Pasal D.5.1.2, dijelaskan gaya tarik pada angkur harus lebih kecil dari kekuatan nominal angkur.

Baut angkur, \emptyset baut = 20 mm $\approx \frac{3}{4}$ in, $A_{SE,N} = 0,441 \text{ in}^2 = 314,159 \text{ mm}^2$ (Wiryanto, 2016)

$$\begin{aligned} N_{sa} &= A_{SE,N} \times f_u \\ &= 314,159 \times 830 \text{ MPa} \\ &= 260752 \text{ N} \\ &= 260,752 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \emptyset N_{sa} &= 0,75 \times 260,752 \\ &= 195,563 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Kuat jebol (breakout) beton terhadap tarik

Menurut SNI 2847:2013 D.5.2.2, kekuatan nominal kuat jebol beton terhadap tarik yaitu:

$$N_{cb} = \frac{A_{NC}}{A_{NCO}} \Psi_{ed,N} \times \Psi_{c,N} \times \Psi_{cp,N} \times N_b$$

Dimana:

$$\Psi_{ed,N} = 1 \text{ (untuk } ca1 \geq 1,5 \text{ hef)}$$

$$\Psi_{c,N} = 1,25 \text{ (untuk angkur cor)}$$

$$\Psi_{cp,N} = 1$$

$$k_c = 10 \text{ (untuk angkur cor di dalam)}$$

$$\lambda_a = \lambda = 1$$

Posisi angkur dari ujung tepi kolom beton ($ca1$) = 240 mm

$$A_{NCO} = 9\text{hef}^2 = 9 \times (160)^2 = 230400 \text{ mm}^2$$

$$A_{NC} = ca1 \times ca2 = 240 \times 200 = 48000 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{NC}}{A_{NCO}} = 0,2$$

$$N_b = k_c \lambda_a \sqrt{f'c} \text{ hef}^{1,5}$$

$$= 10 \times 1 \times \sqrt{35} \text{ } 160^{1,5}$$

$$= 119733 \text{ N}$$

$$= 119,733 \text{ kN}$$

Baut angkur tunggal

$$\begin{aligned}
 N_{cb} &= \frac{A_{NC}}{A_{NCO}} \Psi_{ed,N} \times \Psi_{c,N} \times \Psi_{cp,N} \times N_b \\
 &= 0,2 \times 1 \times 1,25 \times 1 \times 119,733 \\
 &= 29,93 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

c. Kuat cabut (pullout) baut angkur dari beton

Menurut SNI 2847:2013 D.5.3.4, kekuatan nominal cabut dalam kondisi tarik dari baut berkait tunggal seperti berikut:

$$\Psi_{c,p} = 1$$

Baut angkur, $\emptyset_{\text{baut}} = 20 \text{ mm} \approx \frac{3}{4} \text{ in}$, $A_{SE,N} = 0,441 \text{ in}^2 = 314,159 \text{ mm}^2$ (Wiryanto, 2016)

$$\begin{aligned}
 N_p &= 8 A_{brg} f_c' \\
 &= 8 \times 314,159 \times 35 \\
 &= 87964 \text{ N} \\
 &= 87,96 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \emptyset N_{pn} &= \emptyset \Psi_{c,p} N_p \\
 &= 0,75 \times 1 \times 87,96 \\
 &= 65,97 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

d. Kuat ambrol muka tepi (sideface blowout) beton dari tarik

Menurut SNI 2847:2013 D.5.4.1, kekuatan nominal ambrol beton dari tepi terdekat terhadap tarik yaitu:

$$N_{sb} = (13 \text{ cal } \sqrt{A_{brg}}) \lambda_a \sqrt{f_c'}$$

Baut angkur, $\emptyset_{\text{baut}} = 20 \text{ mm} \approx \frac{3}{4} \text{ in}$, $A_{SE,N} = 0,441 \text{ in}^2 = 314,159 \text{ mm}^2$ (Wiryanto, 2016)

$$\begin{aligned}
 N_{sb} &= (13 \text{ cal } \sqrt{A_{brg}}) \lambda_a \sqrt{f_c'} \\
 &= (13 \text{ cal } \sqrt{314,159}) 1 \sqrt{35} \\
 &= 327162 \text{ N} \\
 &= 327,162 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

e. Rangkuman kuat batas baut terhadap tarik

Kuat tarik baut angkur	= 195,563 kN
Kuat jebol beton	= 19,93 kN (Menentukan)
Kuat cabut angkur	= 65,97 kN

Kuat ambrol muka tepi beton = 327, 162 kN

$$\phi N_n \geq N_n$$

$$29,93 \text{ kN} \geq 11,295 \text{ kN} \text{ (Memenuhi)}$$

Jadi digunakan angkur baut tunggal M20 mutu A325

4.5.5.6 Kontrol Tarik Sambungan Coupler

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 12.14.3.2, sambungan mekanis penuh harus mengembangkan tarik atau tekan seperti diisyaratkan, paling sedikit 1,25 f_y baja tulangan

Berdasarkan brosur didapat informasi seperti berikut:

$$f_y \text{ Coupler} = 600 \text{ MPa}$$

$$f_y \text{ tulangan} = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{Sehingga, } 1,25 f_y < f_y \text{ Coupler}$$

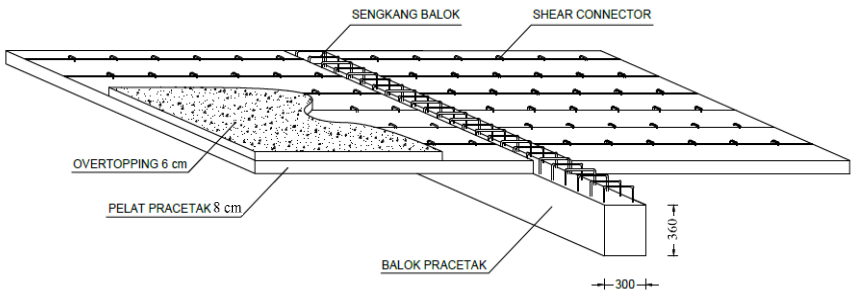
$$1,25 \times 400 < 600 \text{ MPa}$$

$$500 \text{ MPa} < 600 \text{ MPa} \text{ (Memenuhi)}$$

4.5.6 Perencanaan Sambungan Pelat dan Balok

Sambungan antara balok dengan pelat mengandalkan adanya tulangan tumpuan yang dipasang memanjang melintang tegak lurus di atas balok (menghubungkan stud – stud pelat). Selanjutnya pelat pracetak yang sudah dihubungkan stud-studnya tersebut diberi *overtopping* dengan cor setempat.

Proses *overtopping* tersebut dilakukan bersamaan dengan proses penyambungan *overtopping* balok pracetak (sambungan balok induk dan kolom pracetak). Dapat disimpulkan bahwa semua proses penyambungan *overtopping* pada masing-masing komponen pracetak dapat dilakukan dalam waktu bersamaan.



Gambar 4. 84 Panjang Penyaluran Pelat

4.5.6.1 Panjang Penyaluran Tulangan Pelat Type A

Berdasarkan perhitungan pada bab sebelumnya, didapatkan hasil penulangan pada pelat type A sebagai berikut:

$$d_b = 10 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Arah X} - A_s \text{ perlu} & : 116,07 \text{ mm}^2 \\ A_s \text{ terpasang} & : 471 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arah Y} - A_s \text{ perlu} & : 210 \text{ mm}^2 \\ A_s \text{ terpasang} & : 314 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

a. Penyaluran Arah X

- Kondisi tarik

$$\ell_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{12 f_y \alpha \beta \lambda}{25 \sqrt{f_c'}}$$

$$\alpha \beta \leq 1,7 \dots \text{SNI 03 - 2847 - 2013 Pasal 12.2.4}$$

Dengan:

$$\alpha : \text{faktor lokasi penulangan} = 1$$

$$\beta : \text{faktor pelapis} = 1$$

$$\lambda : \text{faktor beton normal} = 1$$

$$\frac{\ell_d}{10} = \frac{12 \times 400 \times 1 \times 1 \times 1}{25\sqrt{35}}$$

$$\ell_d = 324,539 \text{ mm}$$

Dipakai $\ell_d = 350 \text{ mm}$

- Kondisi tekan
Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3

$$\ell_d = \ell_{db} \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}}$$

$$\ell_d \geq 200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \ell_d &\geq 0,043 d_b f_y \\ &\geq 0,043 \times 10 \times 400 = 172 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\ell_{db} = \frac{d_b \times f_y}{4 \times \sqrt{f_c}} = \frac{10 \times 400}{4 \times \sqrt{35}} = 169,031 \text{ mm}$$

$$\ell_d = 169,031 \times \frac{116,07}{471} = 41,655 \text{ mm}$$

Dipakai $\ell_d = 50 \text{ mm}$

b. Penyaluran Arah Y

- Kondisi tarik

$$\ell_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{12 f_y \alpha \beta \lambda}{25 \sqrt{f_c}}$$

$$\alpha \beta \leq 1,7 \dots \dots \text{SNI 03 - 2847 - 2013 Pasal 12.2.4}$$

Dengan:

α : faktor lokasi penulangan = 1

β : faktor pelapis = 1

λ : faktor beton normal = 1

$$\frac{\ell_d}{10} = \frac{12 \times 400 \times 1 \times 1 \times 1}{25\sqrt{35}}$$

$$\ell_d = 324,539 \text{ mm}$$

Dipakai $\ell_d = 350 \text{ mm}$

- Kondisi tekan
Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3

$$\ell_d = \ell_{db} \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}}$$

$$\ell_d \geq 200 \text{ mm}$$

$$\ell_d \geq 0,043 d_b f_y$$

$$\geq 0,043 \times 10 \times 400 = 172 \text{ mm}$$

$$\ell_{db} = \frac{d_b \times f_y}{4 \times \sqrt{f_c'}} = \frac{10 \times 400}{4 \times \sqrt{35}} = 169,031 \text{ mm}$$

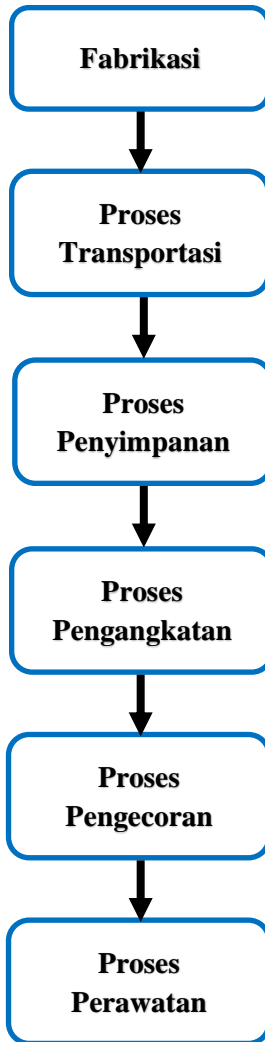
$$\ell_d = 169,031 \times \frac{210}{314} = 113,046 \text{ mm}$$

$$\text{Dipakai } \ell_d = 120 \text{ mm}$$

4.6 Metode Pelaksanaan

4.6.1 Umum

Dalam setiap pekerjaan konstruksi, metode pelaksanaan merupakan item penting yang tidak bisa dipisahkan. Apalagi menyangkut struktur beton pracetak. Untuk merencanakan beton pracetak, terlebih dahulu harus diketahui apakah struktur tersebut bisa dilaksanakan. Tahap pelaksanaan ini akan diuraikan mengenai item-item pekerjaan konstruksi dan pembahasan mengenai pelaksanaan yang berkaitan dengan penggunaan material-material beton pracetak. Proses pekerjaan yang dilakukan di proyek ini adalah:



Gambar 4. 85 Diagram Alir Metode Pelaksanaan

- A. Fabrikasi
- B. Proses transportasi
- C. Proses penyimpanan
- D. Proses pengangkutan
- E. Proses pengecoran
- F. Proses perawatan

4.6.2 Fabrikasi

Proses fabrikasi yaitu proses pembuatan komponen pracetak, dalam hal ini ada beberapa yang harus diperhatikan demi efisiensi biaya dan menjaga komponen agar tidak rusak. Hal-hal yang perlu dipertimbangkan dengan proses fabrikasi adalah:

- a. Perlunya standart khusus sehingga hasil parcetak dapat diaplikasikan secara umum di pasaran
- b. Terbatasnya fleksibilitas ukuran yang disediakan untuk elemen pracetak yang disebabkan karena harus mengikuti elemen pracetak yang disebabkan karena harus mengikuti kaidah sistem dimensi satuan yang disepakati bersama dalam bentuk kelipatan suatu modul.
- c. Dengan cara ini dimungkinkan untuk mencari produk yang terbaik dari lain pabrik.
- d. Lokasi fabrikasi memiliki lahan yang cukup luas dan lingkungan yang bersih dari material non-struktur.
- e. Bekisting pada saat pengecoran komponen pracetak harus disediakan sesuai dengan desain yang telah ditentukan.

4.6.3 Transportasi

Tahap pemindahan komponen beton pracetak dari lokasi fabrikasi ke area proyek diperlukan sarana angkut seperti truk tunggal, tandem, atau temple. Sistem transpostasi disini meliputi:

- 1. Pemindahan beton pracetak di area pabrik
- 2. Pemindahan dari pabrik ke *storage* area proyek
- 3. Pemindahan dari penampungan sementara di proyek ke posisi akhir

Truk yang biasa digunakan untuk pengangkutan berukuran lebar 2,4 m x 16 m atau 2,4 m x 18 m dengan kapasitas angkut kurang lebih 50 ton. Untuk komponen tertentu dimana panjangnya cukup panjang hingga 30 m dapat dipergunakan truk temel dimana kapasitasnya dapat mencapai 80 ton. Di area lokasi proyek diperlukan sarana untuk pemindahan komponen beton pracetak mempergunakan tower crane dan area penyimpanan (*storage*) untuk menyimpan elemen pracetak sebelum dilaksanakan pemasangan (*erection*)

Diketahui komponen pracetak pada Proyek Akhir Terapan ini memiliki bentang maksimal 7,2 meter (Pelat $t = 8$ cm) dengan beban 3,262 ton dan balok induk bentang 7,2 meter (50/70) dengan beban 4,758 ton. Oleh karena itu, penulis mengambil contoh alat transportasi yaitu produk Truck HINO model FL 235 JW dengan spesifikasi sebagai berikut:



Gambar 4. 86 Truck HINO model FL 235 JW

Dimensi
Tangki Solar
Kapasitas : 200 lt
Dimensi (mm)
Jarak Sumbu Roda : 5.760 + 1.300
Cabin to End : -
Total Panjang : 11.275
Total Lebar : 2.460
Total Tinggi : 2.695
Lebar Jejak Depan : 1.925
Lebar Jejak Belakang : 1.855
Julur Depan : 1.255
Julur Belakang : 2.960
Berat Chassis (kg)
Depan : 2.928
Belakang : 3.818
Berat Kosong : 6.746
GVWR / GCWR : 26000

Gambar 4. 87 Spesifikasi Truck HINO model FL 235 JW
(<http://hino.co.id/m/id/product/detail/hino-500-ranger/fl-series-6x2/fl-235-jw>)

Truk yang biasa digunakan untuk pengangkutan berukuran lebar 2,46 m x 11,275 m dengan kapasitas angkut kurang lebih 26 ton. Di area lokasi proyek diperlukan sarana untuk pemindahan komponen beton pracetak mempergunakan tower crane dan area penyimpanan (*storage*) untuk menyimpan elemen pracetak sebelum dilaksanakan pemasangan (*erection*).

4.6.4 Penyimpanan

Lokasi penyimpanan pada lokasi proyek perlu diperhatikan untuk menjaga komponen agar tidak rusak dan tidak mengganggu pekerjaan lainnya dengan jumlah penumpukan yang telah ditentukan.

Dalam hal ini maka penulis meletakkan komponen pracetak di depan lokasi proyek, sehingga memudahkan mobilitas.



Gambar 4. 88 Rencana Lokasi *Storage Area* dan Mobilisasi Proyek

4.6.5 Pengangkatan

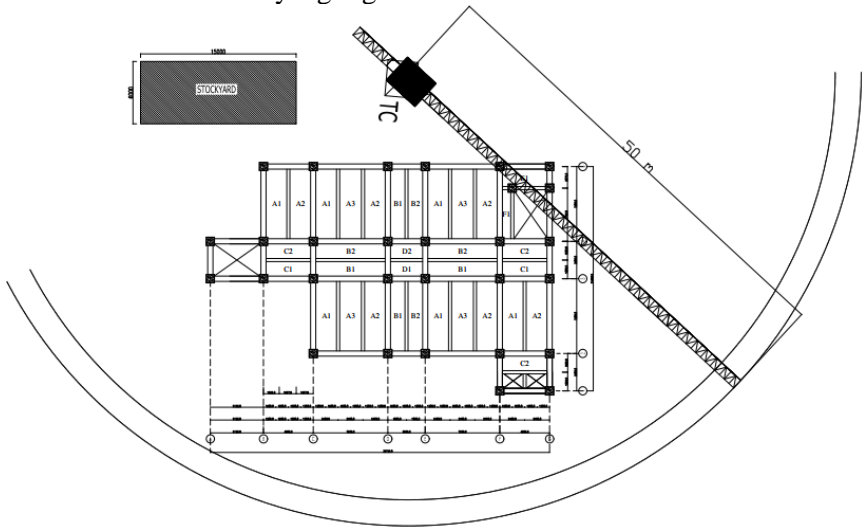
Hal – hal yang perlu diperhatikan dalam pengangkatan elemen pracetak antara lain:

1. kemampuan maksimum crane yang digunakan
2. metode pengangkatan
3. letak titik – titik angkat pada elemen pracetak

Hal – hal tentang pengangkatan dan penentuan titik angkat telah dibahas pada bab – bab sebelumnya. Dalam perencanaan ini memakai peralatan tower crane untuk mengangkat elemen pracetak

di lapangan. Untuk pemilihan tower crane harus disesuaikan antara kemampuan angkat crane dengan berat elemen pracetak.

- Jenis crane POTAIN MC 310 K12 (Terlampir)
- Jarak jangkau maksimum 70 m dengan beban maksimum 9,6 ton
- Tower crane yang digunakan 1 buah



Gambar 4. 89 Rencana Penempatan Tower Crane

4.6.5.1 Kontrol Kapasitas Crane

Elemen struktur pracetak

1. Balok induk 50/56 (terpanjang 7,20 m)

$$W = 0,50 \times (0,70 - 0,14) \times 7,20 \times 2,36 \\ = 4,758 \text{ ton} < 9,6 \text{ ton (Memenuhi)}$$

Kapasitas crane mampu mengangkat balok induk pracetak dengan beban 4,758 ton dengan beban maksimum 5,4 ton dengan jarak jangkau maksimum 50 m.

2. Balok anak 30/36 (terpanjang 7,20 m)

$$W = 0,30 \times (0,5 - 0,14) \times 7,20 \times 2,36 \\ = 1,835 \text{ ton} < 9,6 \text{ ton (Memenuhi)}$$

Kapasitas crane mampu mengangkat balok anak pracetak dengan beban 1,835 ton dengan beban maksimum 3,2 ton dengan jarak jangkau maksimum 70 m.

3. Pelat

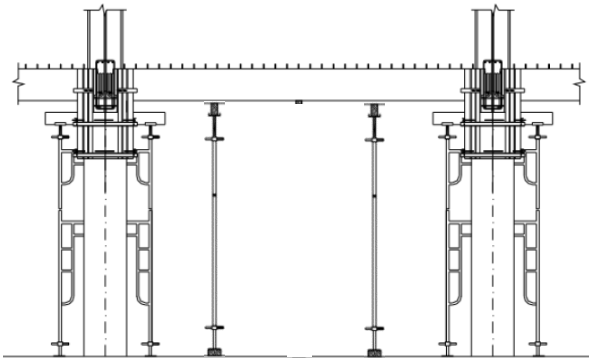
Ukuran Pelat $2,4 \times 7,20$ m ($t = 8$ cm)

$$W = 2,4 \times 7,20 \times 0,08 \times 2,36 \\ = 3,262 \text{ ton} < 9,6 \text{ ton (Memenuhi)}$$

Kapasitas crane mampu mengangkat pelat pracetak dengan beban 3,262 ton dengan beban maksimum 3,85 ton dengan jarak jangkau maksimum 65 m.

4.6.6 Pemasangan

Pemasangan balok pracetak jika pengecoran kolom sudah dilakukan dan perancah / *scaffolding* ditempatkan sesuai dengan perencanaan yang telah ditentukan untuk membantu menunjang elemen pracetak pada pemasangan di kolom.



Gambar 4. 90 Perencanaan Penyangga pada Pemasangan Elemen Pracetak

4.6.7 Pengecoran

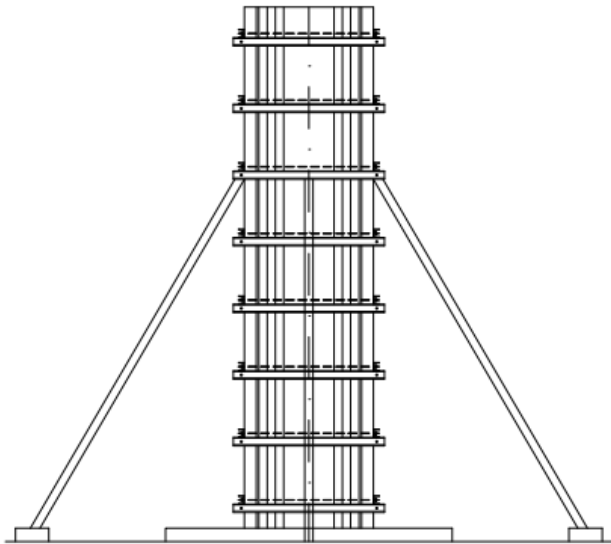
Setelah pemasangan balok induk pada kolom, selanjutnya balok anak lalu pelat dipasang pada tempat yang sudah ditentukan.

Setelah itu pemasangan tulangan setelah komposit diberikan pada komponen pracetak.

Evaluasi atau pengecekan komponen pracetak secara menyeluruh seperti detail penulangan dan sterilisasi lokasi pengecoran untuk mencegah kesalahan sebelum pengecoran dilakukan.

4.6.7.1 Pekerjaan Elemen Kolom

Setelah dilakukan pemancangan, pembuatan pile cap dan sloof, maka tulangan kolom dipasang bersamaan dengan pendimensian pile cap. Tulangan kolom bersamaan dengan tulangan konsol yang telah disiapkan dicor sampai batas yang sudah ditentukan. Dalam hal ini sampai ketinggian permukaan bawah balok induk yang menumpang pada kolom.



Gambar 4. 91 Pemasangan Bekisting untuk Pembuatan Kolom

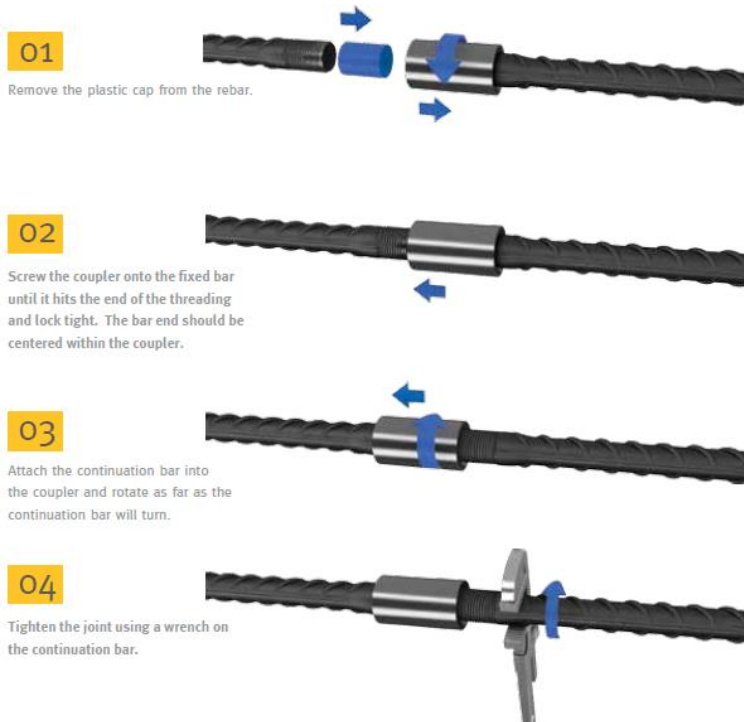


Gambar 4. 92 Ilustrasi Pekerjaan Kolom

4.6.7.2 Pemasangan Elemen Balok Induk

Pemasangan balok induk pracetak setelah pengecoran kolom. Balok induk dipasang terlebih dahulu di atas konsol kolom kemudian dilanjutkan dengan pemasangan balok anak. Lalu setelah itu baru dilakukan pengecoran. Diperlukan peralatan *crane* dan *scaffolding* untuk membantu menunjang balok pracetak.

Pada proses penyambungan antara kolom dan balok induk digunakan *mechanical coupler* dari produk *Barus Rebar Splice Solution* tipe *The SimGrip™ LT System*. Coupler tersebut dipasang pada tulangan panjang penyaluran salah satu balok induk pracetak dan selanjutnya, coupler tersebut dihubungkan dengan tulangan panjang penyaluran balok induk di depannya. Sehingga kedua tulangan panjang penyaluran dari 2 balok induk pracetak dapat terhubung melalui coupler tipe *The SimGrip™ LT System* yang berada pada tengah kepala kolom. Pemilihan dan penempatan coupler disesuaikan dengan diameter tulangan panjang penyaluran balok induk pracetak. Berikut adalah ilustrasi pemasangan coupler pada tulangan panjang penyaluran balok induk pracetak:



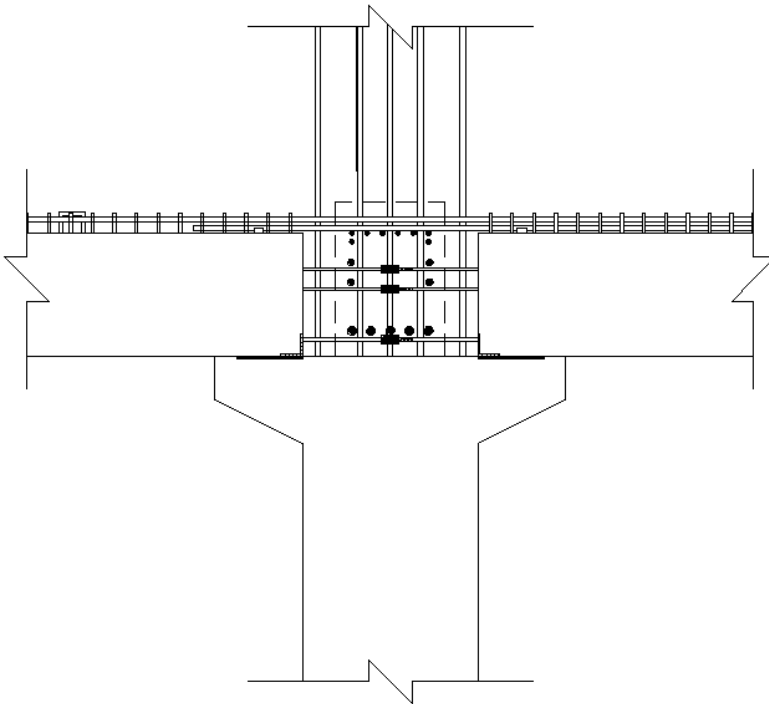
Gambar 4. 93 Ilustrasi Pemasangan Coupler Tipe *The SimGrip™ LT System*
(<http://www.bar-us.com>)\

Langkah penyambungan dengan coupler:

1. Lepaskan tutup plastik dari coupler dan pasang coupler pada salah satu tulangan panjang penyaluran balok induk pracetak
2. Sambungkan coupler yang telah dipasang pada salah satu tulangan panjang penyaluran balok induk pracetak ke tulangan panjang penyaluran balok induk pracetak di depannya
3. Kencangkan coupler dengan memutarnya sampai ujung kedua tulangan panjang penyaluran balok induk pracetak tersambung di dalam lubang coupler
4. Kunci rapat sambungan dengan bantuan kunci inggris.

Kemudian dapat dilanjutkan dengan proses penyambungan antara kolom dan balok induk digunakan cor setempat atau dalam konteks ini istilahnya yaitu “cor kepala kolom”.

Penyambungan yg dilakukan sebagaimana mestinya seperti metode case in situ biasa menggunakan panjang penyaluran balok yang ditanam ke area kolom. Tetapi pengecoran di sini dilakukan pada kepala kolom tersebut dengan dimensi lebar sisi sepanjang kolom tersebut dan setinggi balok yang menemuinya. Pada proses ini tetap digunakan bekisting untuk pengecoran kepala kolom tersebut.



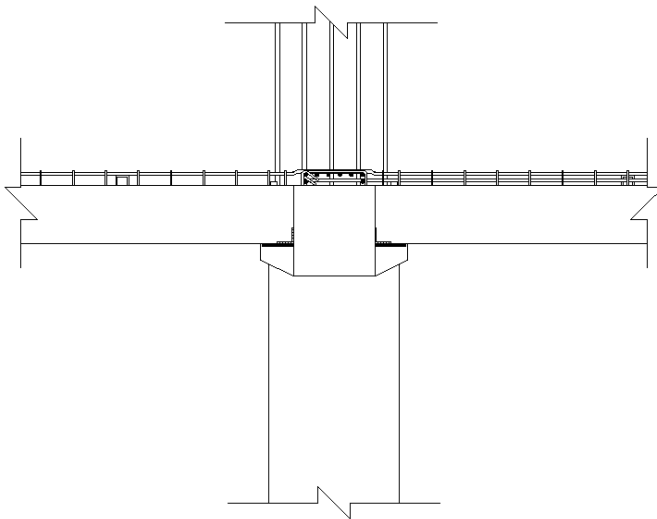
Gambar 4. 94 Pemasangan Balok Induk Pracetak



Gambar 4. 95 Ilustrasi Pemasangan Balok Induk Pracetak

4.6.7.3 Pemasangan Elemen Balok Anak

Pemasangan balok anak pracetak di bagian tengah balok induk. Konsol tempat bertumpunya balok anak pun terbuat dari beton pracetak yang terdapat pada balok induk.



Gambar 4. 96 Pemasangan Balok Anak Pracetak

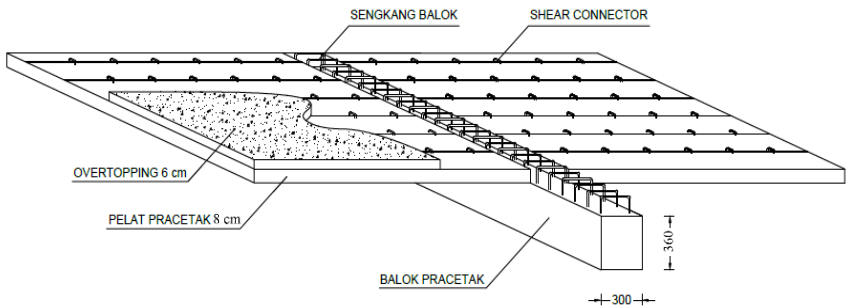


Gambar 4. 97 Ilustrasi Pemasangan Balok Anak Pracetak

Setelah balok anak dan balok induk terpasang, maka dilanjutkan dengan pemasangan pelat dan kemudian dilakukan pengecoran *overtopping*.

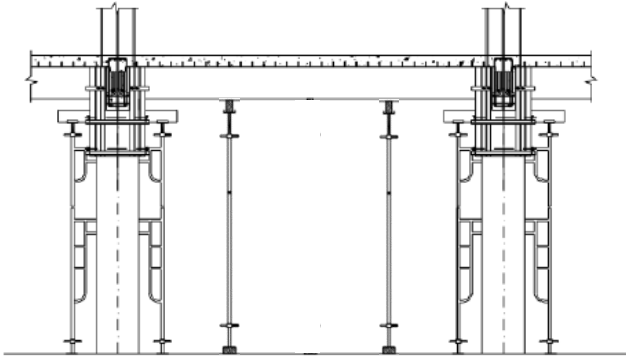
4.6.7.4 Pemasangan Elemen Pelat

Pemasangan pelat pracetak di atas balok induk dan balok anak sesuai dengan dimensi pelat yang sudah ditentukan. Pemasangan tulangan bagian atas (*overtopping*), baik tulangan tumpuan maupun tulangan lapangan untuk pelat, balok anak dan balok induk. Kemudian dilakukan pemasangan tulangan bagian atas yaitu tulangan tumpuan untuk pelat.



Gambar 4. 98 Pemasangan Tulangan Atas

Setelah semua tulangan terpasang, kemudian dilakukan pengecoran pada bagian atas pelat, balok anak, dan balok induk, dan kepala kolom setinggi balok, yang berfungsi sebagai *topping* atau penutup bagian atas. Selain itu *topping* juga berfungsi untuk merekatkan komponen pelat, balok anak, dan balok induk agar menjadi satu kesatuan (komposit). Hal ini diperkuat dengan adanya tulangan panjang penyaluran pada masing – masing komponen pelat, balok anak, dan balok induk. *Topping* digunakan setinggi 6 cm. Selain itu untuk pemasangan sambungan pelat *overtopping* juga digunakan stud sebagai *shear connector*. Pada proses pengecoran *topping* tersebut masih dibutuhkan penyangga untuk memastikan agar komponen terpasang baik dan pengecoran tersebut berjalan sesuai rencana. Tiap komponen bentang pelat tersebut diletakan penyangga pada bagian tepi dan tengah. Adapun pemasangan penyangga (*scaffolding*) tersebut dapat diilustrasikan pada gambar berikut:



Gambar 4. 99 Perencanaan Penyangga pada Pemasangan Pelat Pracetak



Gambar 4. 100 Ilustrasi Pemasangan Pelat Lantai Pracetak

Untuk pekerjaan lantai berikutnya dilakukan sama dengan urutan pelaksanaan di atas sampai semua elemen pracetak terpasang.

Setelah pemasangan pelat pracetak, maka akan dilakukan pengecoran *overtopping* diatas elemen pracetak (balok induk, balok anak, dan pelat lantai) serta kepala kolom, agar semua elemen tersambung dengan monolit.



Gambar 4. 101 Ilustrasi Pengecoran *Overtopping*

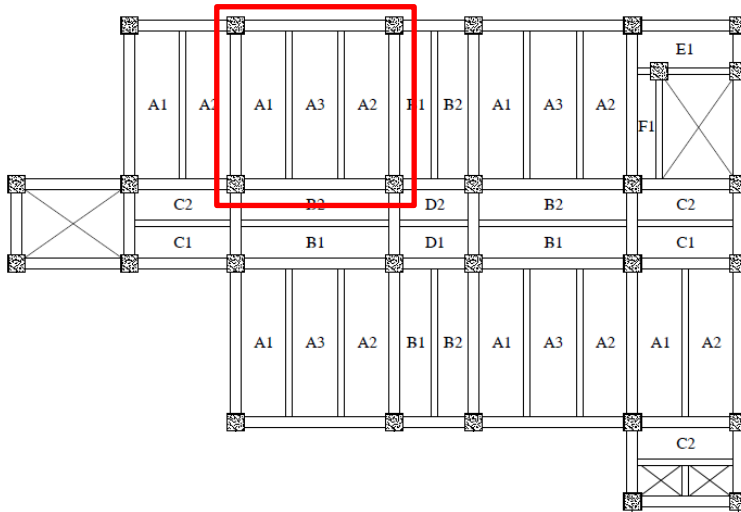
4.6.8 Perawatan

Curing atau perawatan beton dilakukan saat beton sudah mulai mengeras yang bertujuan untuk menjaga beton tidak cepat kehilangan air dan menjaga kelembaban / suhu beton. Sehingga beton dapat mencapai mutu beton yang diinginkan.

Metode yang dilakukan untuk proses perawatan pada komponen pracetak dilakukan saat pengecoran selesai dilaksanakan yaitu dengan membasahi permukaan beton secara berkala.

4.7 Metode Pelaksanaan Section A

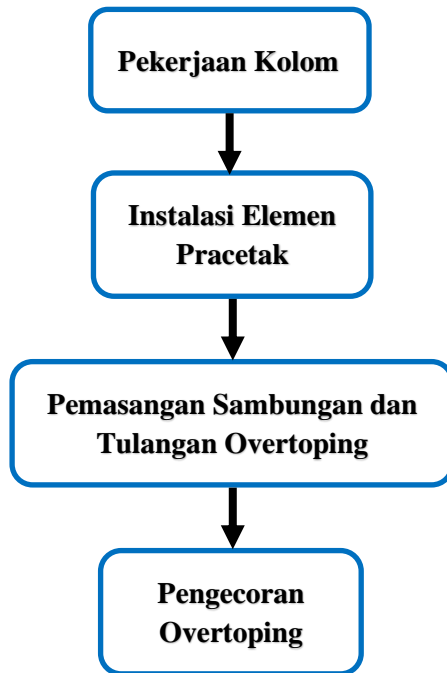
Pada tugas akhir ini akan di jabarkan alur pengerjaan section A. Lihat gambar 4.102 :



Gambar 4. 102 Metode Pelaksanaan Section A

Dalam pelaksanaan metode pelaksanaan section A, akan terbagi menjadi beberapa alur. Secara garis besar alur tersebut, meliputi:

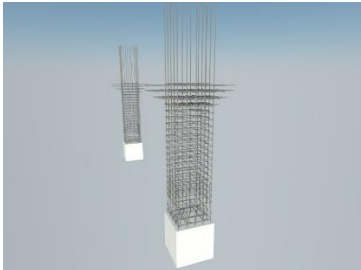
1. **Pekerjaan Kolom:** Penulangan, Bekisting, dan pengecoran
2. **Instalasi Elemen Pracetak:** Pemasangan balok anak pracetak, balok induk pracetak dan pelat pracetak
3. **Pemasangan Sambungan dan Tulangan Overtopping:** Sambungan balok anak-balok induk, balok induk-kolom, dan pemasangan tulangan overtopping balok dan pelat.
4. **Pengecoran Overtopping:** Bekisting dan pengecoran overtopping



Gambar 4. 103 Alur Metode Pelaksanaan Section A

Dalam metode pelaksanaanya akan dijelaskan melalui beberapa gambar sebagai ilustrasi sebagai berikut:

1. Pekerjaan Kolom



Penulangan Kolom dan Korbek



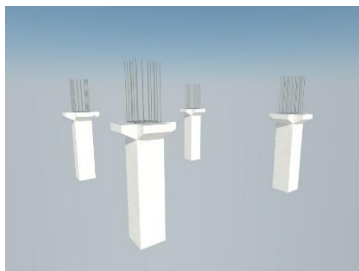
Pemberian Bekisting Kolom



Pengecoran Kolom



Pelepasan Bekisting

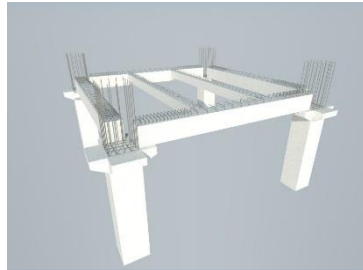


Kolom Siap Dilakukan
Pemasangan Elemen Pracetak

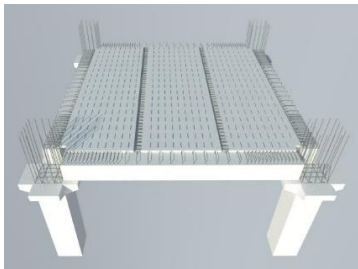
2. Instalasi Elemen Pracetak



Pemasangan Balok Induk

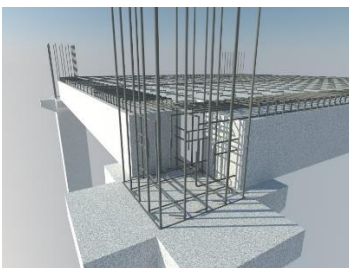


Pemasangan Balok Anak

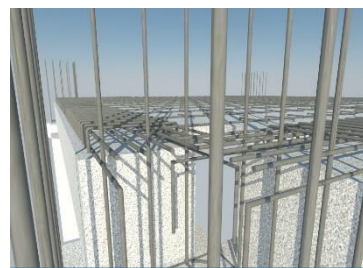


Pemasangan Pelat Lantai

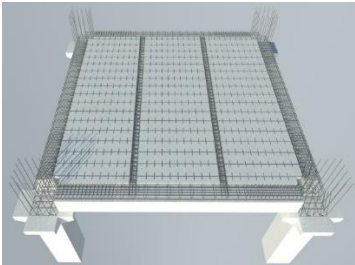
3. Pemasangan Sambungan dan Tulangan Overtopping



Pemasangan Sambungan

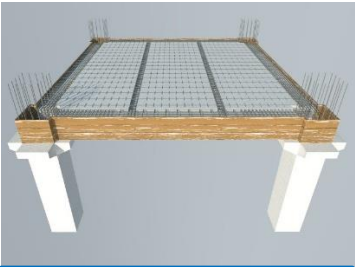


Tulangan Overtopping

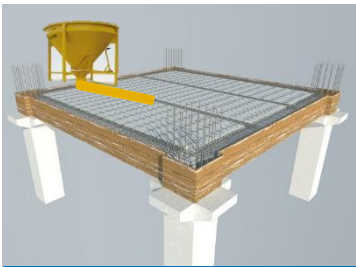


Semua Tulangan Overtopping
Elemen Pracetak Terpasang

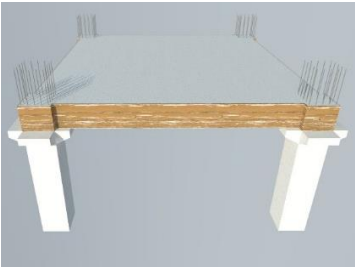
4. Pengecoran Overtopping



Pemasangan Bekisting



Pengecoran Overtopping



Beton Setting



Section A Selesai



BAB V

PENUTUP

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan struktur yang dilakukan dalam penyusunan Proyek Akhir Terapan “Modifikasi Perencanaan Gedung Perkuliahan di Kota Surabaya dengan Metode Beton Pracetak (*Precast*)” maka dapat ditarik beberapa poin kesimpulan diantaranya sebagai berikut :

1. Berdasarkan perancangan struktur yang dilakukan dalam Dimensi struktur utama didapatkan dari SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.2. Yang meliputi ketentuan tebal minimum balok non prategang dapat disesuaikan pada table 9.5(a) dan dimensi kolom yang didapat dari perhitungan sebesar 80/80 cm. Dimensi struktur sekunder didapatkan dari SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.2. Yang meliputi ketentuan tebal minimum balok non prategang dapat disesuaikan pada table 9.5(a). Sedangkan untuk dimensi pelat digunakan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.2 dengan melihat tabel 9.5(c). adapun hasil modifikasi sebagai berikut :
 - a. Struktur Sekunder
 - Dimensi balok anak = 30/50 cm
 - Dimensi balok bordes = 30/50 cm
 - Dimensi pengantung lift = 30/50 cm
 - Dimensi penumpu lift = 50/70 cm
 - Tebal pelat = 14 cm
 - b. Struktur Primer
 - Dimensi balok induk = 50/70 cm
 - Dimensi kolom = 80x80 cm
2. Komponen pracetak kolom dan balok induk serta balok induk dan balok anak disambung dengan menggunakan sambungan basah dan konsol pendek menggunakan angkur agar bangunan tersebut menjadi bangunan pracetak yang monolit, serta coupler untuk tulangan panjang penyaluran balok induk.

Ukuran konsol pendek kolom adalah 400x400 mm dan konsol pendek balok induk 200x200.

3. Detailing sambungan pracetak dirancang bersifat monolit antar elemennya dengan tulangan-tulangan dan *shear connector* yang muncul dari setiap elemen pracetak untuk menyatukan dengan elemen cor di tempat. Sambungan didesain sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
4. Analisis gaya yang digunakan dalam perhitungan dalam Proyek Akhir Terapan ini menggunakan *software* SAP 2000 v14. Sedangkan pada perhitungan kolom menggunakan *software* tambahan yaitu PCACOL, lalu untuk penggambaran hasil perhitungan menggunakan *software* Autocad.
5. Dalam metode pelaksanaan pracetak dimulai dari proses fabrikasi, pada umur 3 hari beton-beton pracetak siap dikirim ke lokasi proyek dan diangkat untuk ditempatkan di *stockyard* yang tersedia. Di lokasi proyek telah terpasang kolom (cor insitu) dan siap dilakukan pemasangan elemen balok dan pelat pracetak. Lalu dilanjutkan dengan pengecoran *overtopping* beton yang sebelumnya telah dipasang *scaffolding* untuk mereduksi tegangan yang terjadi.

5.2 Saran

Berdasarkan analisa selama proses penyusunan Proyek Akhir Terapan ini, beberapa saran yang dapat penulis sampaikan adalah:

1. Perlu pengawasan dengan baik pada saat pelaksanaan sambungan antar elemen beton pracetak karena sambungan beton pracetak tentu tidak semonolit seperti pada sambungan dengan cor setempat agar nantinya pada saat memikul beban tidak terjadi gaya-gaya tambahan yang tidak diinginkan pada daerah sambungan akibat dari kurang sempurnanya pengerjaan sambungan.
2. Sambungan tipe elemen pracetak sedapat mungkin dibuat seminal mungkin untuk lebih menyeragamkan bentuk cetakan

dan detail tulangan tulangan sehingga tujuan dari konstruksi dengan metode pracetak dapat terlaksana

3. Masih perlu lagi pengembangan teknologi Pracetak agar lebih efisien lagi dalam penggunaannya, serta lebih mudah dalam pengaplikasiannya.
4. Diperlukan penelitian lebih lanjut perihal penggunaan metode pracetak pada gedung tinggi, terutama pada pemilihan sambungan yang dapat menjamin struktur yang disambung telah monolit. Terutama di daerah gempa tinggi.
5. Diperlukan penelitian lebih lanjut perihal pengembangan teknologi pracetak agar lebih efisien dalam penggunaannya, sehingga para pelaku dunia konstruksi lebih mudah dalam mengaplikasikan metode beton pracetak.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



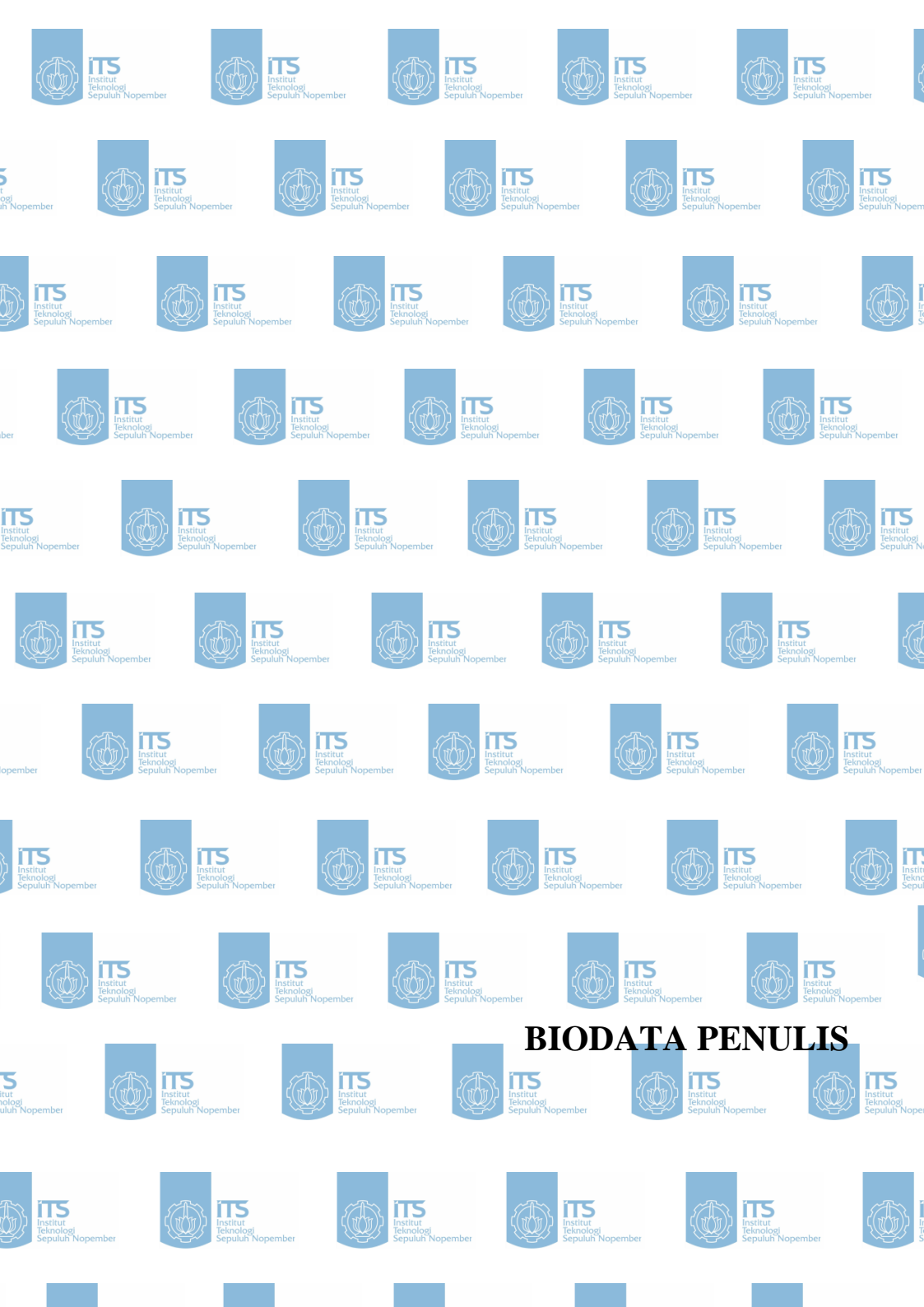
DAFTAR PUSTAKA

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

1. ASCE, 2002 *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structure Second Edition*, Reston Virginia.
2. Badan Standarisasi Nasional. 2013. **SNI 03-2847-2013 Tata cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung**. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional
3. Badan Standardisasi Nasional. 2012. **SNI 03-1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung**. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
4. Badan Standardisasi Nasional. 2012. **SNI 03-1727-2012 Tata Cara Perhitungan Pembebanan Untuk Bangunan Gedung**. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional
5. Badan Standardisasi Nasional. 2012. **SNI 7833-2012 Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang untuk Bangunan Gedung**. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional
6. Dewobroto, Wiryanto. 2016. **Truktur Baja Edisi ke-2**, Universitas Pelita Harapan
7. Elliot, Kim S. 2002. **Precast Concrete Structure**. India: Butterwoth Heinemann
8. Iswandi Imran dan Fajar Hendrik. 2014. **Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang**. Bandung: ITB
9. Nawy, Erdward G. 1998. **Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar** Diterjemahkan : Bambang Suryoatmono. Bandung : PT Rafika Aditama.
10. PCI. 2010. **PCI Design Handbook Edition 6th Precast and Prestressed Concrete**. Chicago : PCI Industry Handbook Committee.
11. PCI. 2010. **PCI Design Handbook Edition 7th Precast and Prestressed Concrete**. Chicago : PCI Industry Handbook Committee.
12. Purwono, Rachmat . 2006. **Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa**. Surabaya : ITS Press

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BIODATA PENULIS

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



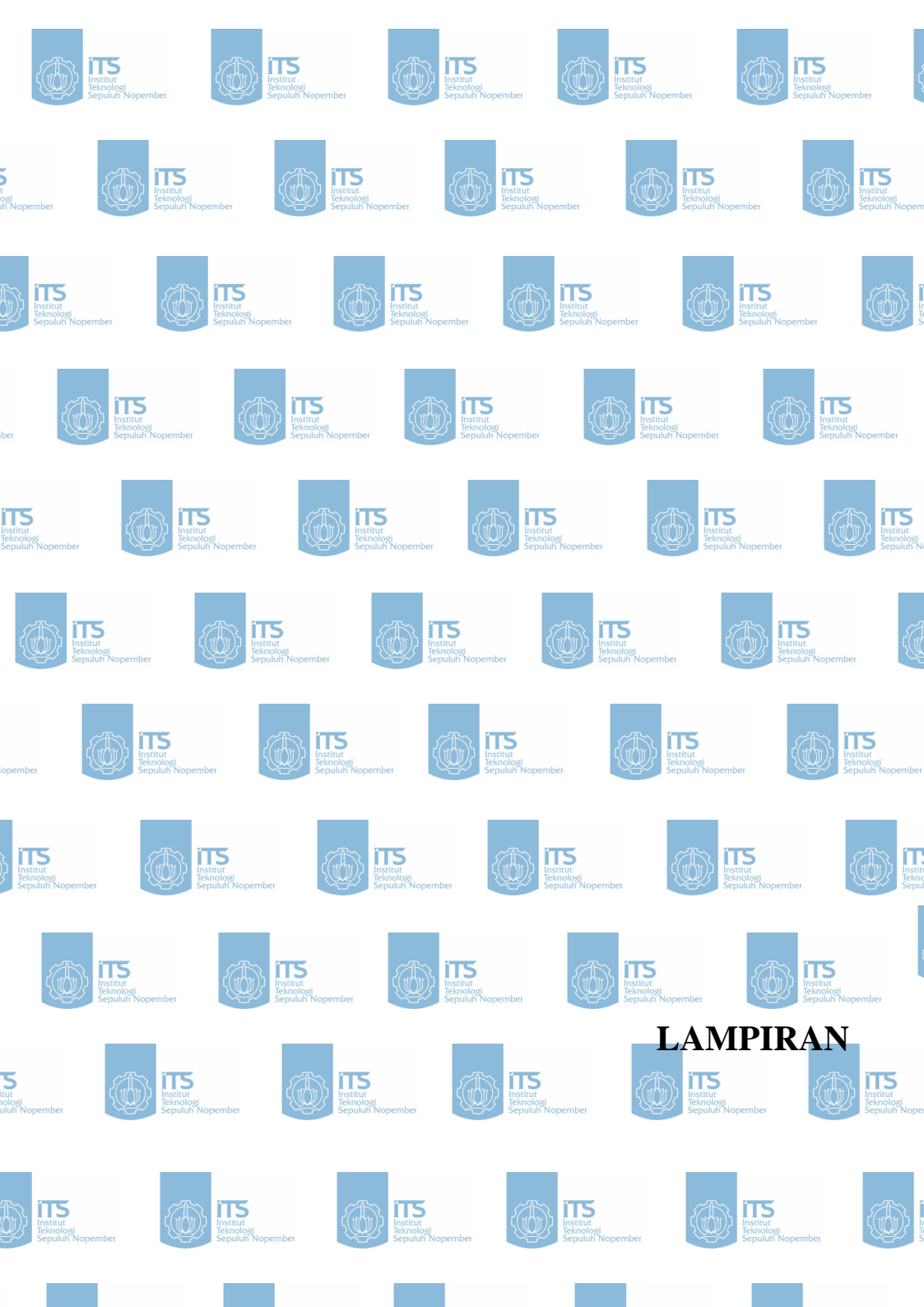
M. Syaifuddin Zuhri

lahir di Lamongan pada tanggal 11 Mei 1996, merupakan anak pertama dari dua bersaudara pasangan Zainul Abidin dan Gading Tsanawiyah (alm).

Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Babatagung (2002-2008), SMP Negeri 4 Lamongan (2008-2011), dan SMA Negeri 2 Lamongan (2011-2014). Penulis melanjutkan pendidikan sarjana teknik terapan di program studi Diploma IV Departemen Teknik Infrastruktur Sipil

ITS Surabaya angkatan 2014 dan terdaftar dengan NRP 10111410000088. Beberapa organisasi yang pernah ditekuni penulis yaitu Staf Departemen *Research and Technology* HMDS FV-ITS (2015-2016), Trainer Keilmiah ITS (2017-2018), dan Asisten Dosen Mata Kuliah WTKI (2017-2018). Penulis juga pernah mewakili ITS menjadi finalis PIMNAS 29, Juara Umum Kompetisi Bangunan Gedung Indonesia VIII, dan menjadi Mahasiswa Berprestasi Utama Nasional Program Diploma Tahun 2017. Bagi penulis menempuh pendidikan di program studi Diploma IV Departemen Teknik Infrastruktur Sipil ITS Surabaya merupakan suatu kesempatan yang tidak akan datang untuk kedua kalinya, sekaligus merupakan suatu kebanggaan. Penulis dapat dihubungi melalui email syaifuddinzuhri09@gmail.com

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



LAMPIRAN

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



PROJECT : Ged. Kampus Univ. Muhammadiyah, 13 Lantai.

DATE OF TESTING : 15 to 19 February 2014

GROUND WATER LEVEL : - 0.20 m

LOCATION : Jl. Sutorejo No. 59, Surabaya.

DEPTH OF BORING : 46.5 m

GROUND SURFACE LEVEL : ± 0.00 m

DEPTH, m		SOIL DESCRIPTION	STANDARD PENETRATION TEST					STRENGTH TEST			ATTERBERG LIMITS					γ	Gs	eo	Sr
			C	10	20	30	40	TYPE	C	φ	0	20	40	60	80				
0		Fill material (sand and gravel, brown, contain crushed brick)																	
1																			
2		Clay and silt, brown, inorganic, trace to little of sand, very soft consistency.																	
3																			
4		Clay and silt, grey, inorganic, some fine sand, soft consistency.																	
5																			
6																			
7		Clay and silt, grey, inorganic, little to some fine sand, contain crushed shells at some depth, very soft to stiff consistency.																	
8																			
9																			
10																			
11		Silt and fine sand, yellowish brown, contain gravel at some depths, contain crushed shells at some depth, medium dense																	
12																			
13																			
14		Fine sand, brown, trace of gravel.																	
15																			
16		Silt and clay, yellowish brown, inorganic, trace sand, very stiff consistency.																	
17																			
18		Fine sand, brown.																	
19																			
20		Silt and clay, yellowish brown, inorganic, trace sand, very stiff to hard consistency.																	
21																			
22		Sand, fine to coarse grained, brown, contain crushed shell, medium to dense																	
23																			
24																			
25		Silt and clay, yellowish brown, inorganic, trace sand, very stiff consistency.																	
26																			
27		Fine sand, brown.																	
28																			
29																			
30																			
31																			
32		Silt and clay, greenish grey, inorganic, trace to little of sand, very stiff to hard consistency.																	
33																			
34																			
35																			
36																			
37		Clay and silt, greyish brown, inorganic, little to some fine sand, hard consistency.																	
38																			
39																			
40																			
41		Sand, fine to coarse grained, grey, trace of gravel, contain crushed shell at some depths, dense to very dense.																	
42																			
43																			
44																			
45																			
46		End of Boring																	
47																			
48																			
49																			
50																			

NOTE :

0 to 10 % = Trace
10 to 20 % = Little
20 to 35 % = Some
35 to 50 % = And

▮ = Undisturbed sample
▨ = SPT
▩ = Fairly Undisturbed

c = Cohesion Intercept, kg/cm²
φ = Internal friction angle, deg

SPT = Standard penetration test (blows / ft)
UU = Triaxial, Unconsolidated undrained

CU = Triaxial, Consolidated undrained

Vane = Vane shear test

UCT = Unconfined compression strength, kg/cm²

QT = Direct shear, quick test.

○ = Wn = Moisture content, %
● = Wp = Plastic limit, %
Δ = WL = Liquid limit, %
γ = Bulk density, t/m³
Gs = Specific gravity
eo = Void ratio
Sr = Saturation, %



PROJECT : Ged. Kampus Univ. Muhammadiyah, 13 Lantai.

DATE OF TESTING : 15 to 19 February 2014

GROUND WATER LEVEL : - 0.20 m

LOCATION : Jl. Sutorejo No. 59, Surabaya.

DEPTH OF BORING : 45.5 m

GROUND SURFACE LEVEL : ± 0.00 m

DEPTH, m.	SOIL DESCRIPTION	STANDARD PENETRATION TEST					STRENGTH TEST			ATTERBERG LIMITS					γ	Gs	eo	Sr	
		0	10	20	30	40	TYPE	C	φ	0	20	40	60	80					100
0																			
1	Fill material (sand and gravel, brown, contain crushed brick).																		
2	Clay and silt, brown, inorganic, trace to little of sand, very soft consistency.																		
3																			
4	Clay and silt, grey, inorganic, some sand, very soft consistency.																		
5	Clay and fine sand, grey.																		
6																			
7	Clay and silt, grey, inorganic, little to some fine sand, contain crushed shells at some depth, very soft to stiff consistency.																		
8																			
9																			
10																			
11																			
12	Silt and fine sand, yellowish brown, contain gravel at some depths, contain crushed shells at some depth, medium dense.																		
13																			
14																			
15																			
16	Silt and clay, yellowish brown, inorganic, trace of sand.																		
17																			
18	Silt and fine sand, yellowish brown to brown, inorganic, trace sand, contain crushed shell at some depths, medium dense.																		
19																			
20																			
21																			
22																			
23	Sand, fine to coarse grained, brown, contain crushed shell, dense to very dense.																		
24																			
25																			
26																			
27																			
28	Silt and clay, yellowish brown, inorganic, trace sand, very stiff consistency.																		
29																			
30																			
31																			
32																			
33	Silt and clay, greenish grey, inorganic, some sand, trace of gravel, hard consistency.																		
34																			
35																			
36	Sand, fine to coarse grained, grey.																		
37																			
38																			
39	Clay and silt, greyish brown, inorganic, trace of fine sand, very stiff to hard consistency.																		
40																			
41																			
42																			
43	Sand, fine to coarse grained, grey, trace of gravel, contain crushed shell at some depths, dense to very dense.																		
44																			
45																			
46	End of Boring																		
47																			
48																			
49																			
50																			

NOTE :

0 to 10 % = Trace
 10 to 20 % = Little
 20 to 35 % = Some
 35 to 50 % = And

▨ = Undisturbed sample
 ▤ = SPT
 ▥ = Fairly Undisturbed

c = Cohesion intercept, kg/cm²
 φ = Internal friction angle, deg

SPT = Standard penetration test (blows / ft)

UU = Triaxial, Unconsolidated undrained

CU = Triaxial, Consolidated undrained

Vane = Vane shear test

UCT = Unconfined compression strength, kg/cm²

QT = Direct shear, quick test.

○ = Wn = Moisture content, %

● = Wp = Plastic limit, %

Δ = WL = Liquid limit, %

γ = Bulk density, t/m³

Gs = Specific gravity

eo = Void ratio

Sr = Saturation, %



Spesifikasi Teknis Bata Ringan Citicon

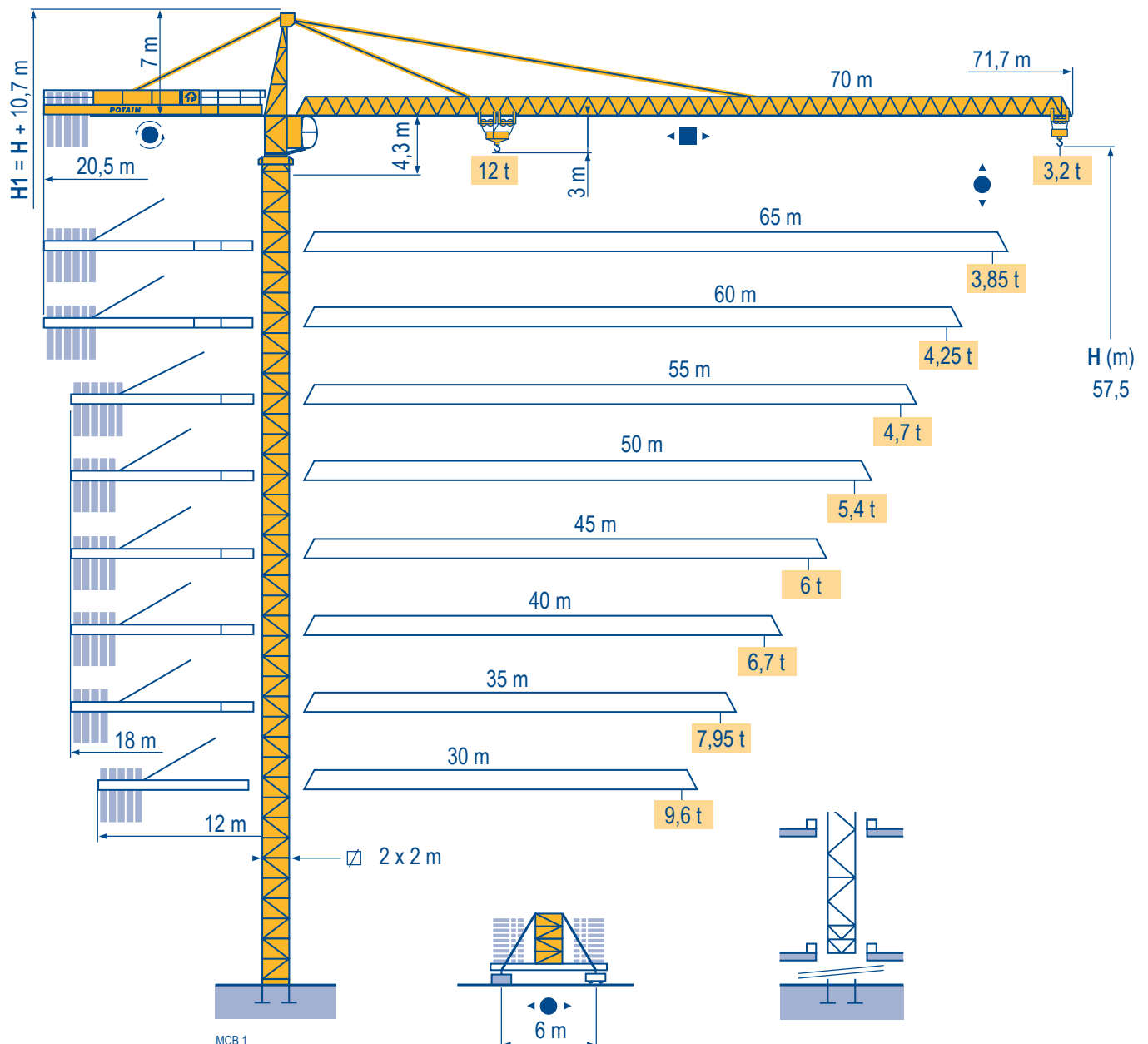
Spesifikasi Teknis Bata Ringan Citicon

Panjang, L (mm) : 600
 Tinggi, H (mm) : 200 ; 400
 Tebal, T (mm) : 75 ; 100 ; 125 ; 150 ; 175 ; 200

Berat jenis kering, (ρ) : 530 kg/m³
 Berat jenis normal, (ρ) : 600 kg/m³
 Kuat tekan, (σ) : $\geq 4,0$ N/m²
 Konduktifitas termis, (λ) : 0.14 w/mk

Tebal	mm	75	100	125	150	175	200
Luas Dinding / m ³	m ²	13.33	10.00	8.00	6.67	5.71	5.00
Isi / m ³	Blok	111.11	83.33	66.67	55.56	47.62	41.67

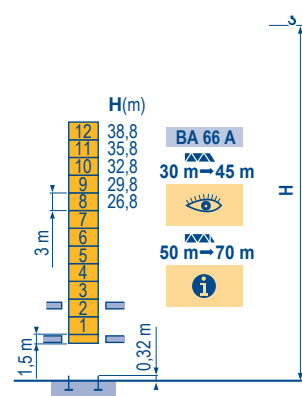
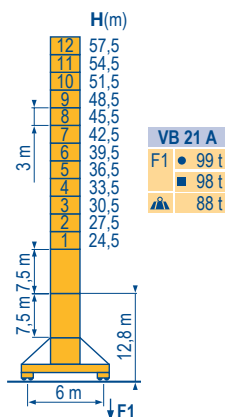
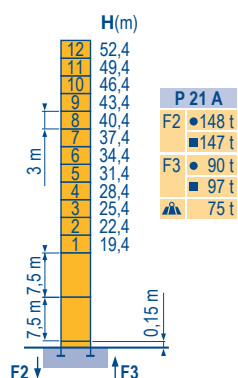
Potain MC 310 K12



Masts /
Reactions
Композиции
башни /
Реакции

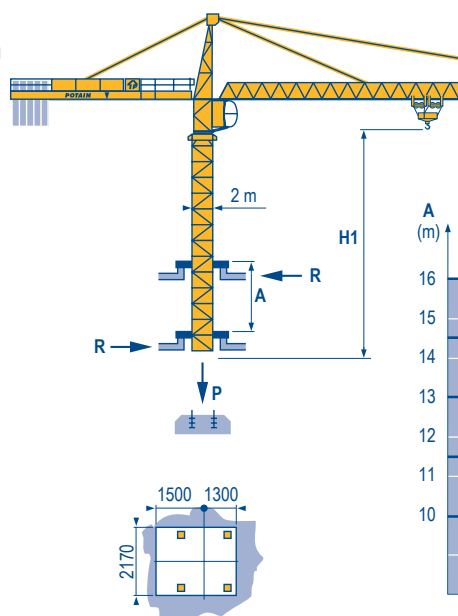
MCB 2

2 m
30 m→70 m



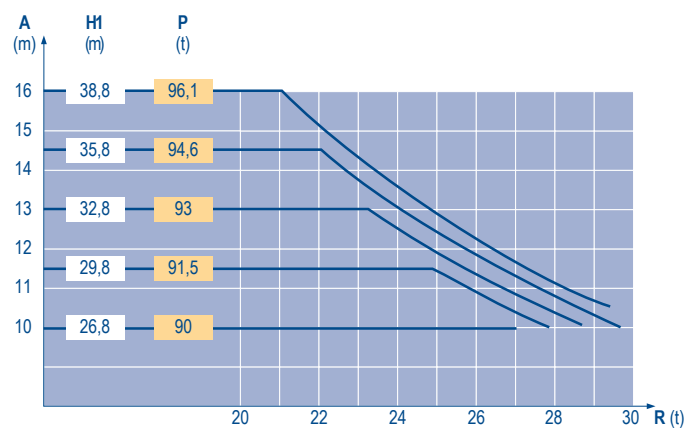
Climbing crane
Кран, ползущий внутри здания

MCB 2



BA 66 A

30 m→45 m



TOPKIT
MC 310 K12

Potain

EN

RU

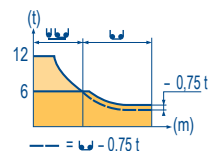
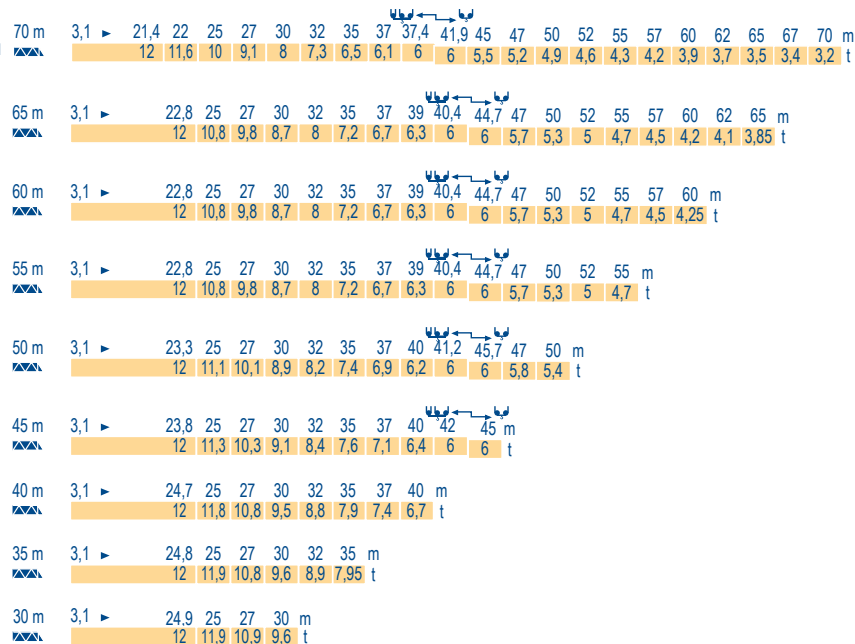
- Reactions in service
- Reactions out of service
- ⚙ Without load, ballast (or transport axles), with maximum jib and maximum height.
- 👁 See climbing crane

- Реакции при работе
- Реакции в покое
- Вес без груза, балласта (или транспортных осей), с максимальной длиной стрелы и максимальной высотой
- См. кран, ползущий внутри здания

Load diagrams

Диаграммы грузоподъемностей

MCB 2



Counter-jib ballast

Балласт на консоли

MCB 2

	4 600 - 4 200 - 2 300 kg	4 200 - 700 kg
	(kg)	(kg)
70 m	20,5 m 24 500	20,5 m 24 500
65 m	20,5 m 23 700	20,5 m 23 800
60 m	20,5 m 21 800	20,5 m 21 700
55 m	18 m 24 900	18 m 24 500
50 m	18 m 22 600	18 m 22 400
45 m	18 m 19 500	18 m 18 900
40 m	18 m 17 200	18 m 16 800
35 m	18 m 14 900	18 m 14 000
30 m	12 m 20 700	12 m 20 300

Base ballast

Базовый балласт

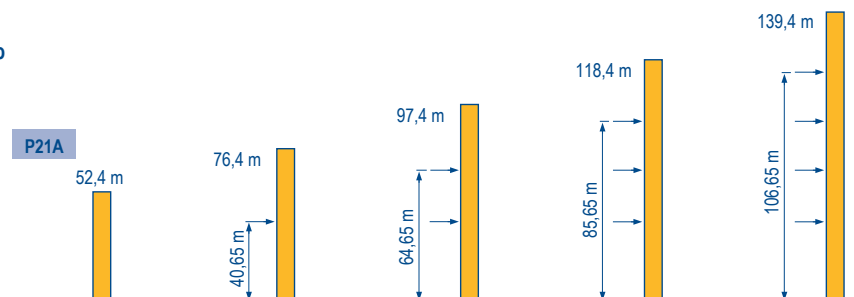
MCB 2

2 m	VB 21 A	H (m)	57,5	54,5	51,5	48,5	45,5	42,5	39,5	36,5	33,5	30,5	27,5	24,5	21,5
		(t)	84	72	72	72	72	72	72	60	60	60	60	60	60

Anchorage

Рамки для крепления к зданию

MCB 2



TOPKIT MC 310 K12

Potain

EN

- A Distance between collars
- H1 Crane height
- P Crane weight (in service)
- R Horizontal reaction
- i Consult us

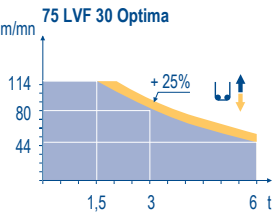
RU

- Расстояние между рамками крепления
- Высота крана
- Вес крана (при работе)
- Горизонтальные реакции
- Проконсультируйтесь у нас

Mechanisms
Механизмы

MCB 5

				↕ ↑		↕ ↑		hp	kW	🔊
⬆	70 RCS 30	m/min	0 → 40	0 → 80	0 → 20	0 → 40	70	51	523 m	
		t	6	3	12	6				
⬆	75 LVF 30 Optima	m/min	0 → 44 → 56 → 80 → 114	0 → 22 → 28 → 40 → 57			75	55	570 m	
		t	6	4,5 3 1,5	12	9 6 3				
↔	6 D3 V4	m/min	15 - 50 (12 t) 100 (6 t)					7,4	5,4	
🌀	RVF 162 Optima +	rpm	0 → 0,7					2 x 7,5	2 x 5,5	
⬆ ⬅	VB 20A VB 21A	RT 544 A1 2V R ≥ 13 m	13,5 - 27					4 x 7	4 x 5,2	
CEI 38 ⚡ IEC 38					kVA					
400 V (+6% -10%) 50 Hz					70 RCS : 100 kVA 75 LVF : 100 kVA					



EN

- ⬆ Hoisting
- ↔ Trolleying
- 🌀 Slewing
- ⬅ Travelling

RU

- Подъем
- Перемещение каретки
- Поворот
- Перемещение крана



This commercial document is not legally binding.
For any technical information, please refer to the corresponding instructions.

Этот коммерческий документ не является юридически обязательным.
Для получения технической информации, см. соответствующие инструкции.



MC 310 K12
Réf. 2009 45 MCB 5



Asia-Pacific Factories

China • No.55 East Zhen Bei Road, Zhangjiagang Economic Development Zone (South), Jiangsu Province, China 215618
Tel 86 512 58780 088 Fax 86 512 5878 0098

India • 72-76, Mundhwa Industrial Estate, Pune - 411 036,
Maharashtra, India Tel 91 20 6644 5500 Fax 91 20 6644 5599

Regional Headquarters

Americas • Manitowoc, Wisconsin, USA • Tel 1 920 684 6621 Fax 1 920 683 6278

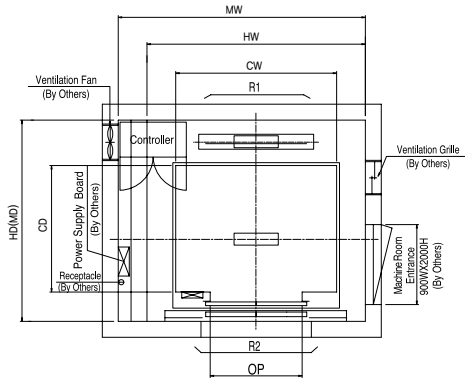
Europe, Middle East & Africa • Ecullly, France • Tel 33 472 18 2020 Fax 33 472 18 2000

Asia Pacific • Shanghai, China • Tel 86 21 6457 0066 Fax 86 21 6457 4955

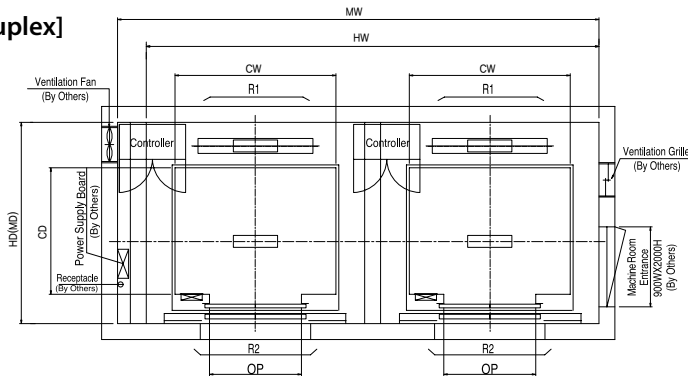
Technical Data

I Hoistway & Machine Room Plan

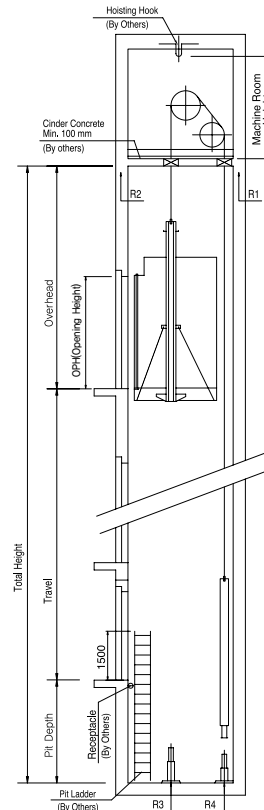
[Simplex]



[Duplex]



I Hoistway Section



I Overhead, Pit & Machine Room Height

Application Regulation [CODE]	Speed (m/s)	Load (kg)	Travel (mm)	Overhead (mm)	Pit Depth (mm)	Machine Room HT	Required Hook Strength (kg)
Standard / EN	1	450~1000	Travel≤100	4200	1400	2300	3000
		1350	Travel≤100	4300			4500
		1150/1600	Travel≤80	4300			
			80<Travel≤100	4650			
	1.5	450~1000	Travel≤100	4400	1450		3000
		1350	Travel≤100	4400			4500
		1150/1600	Travel≤80	4400			
			80<Travel≤100	4750			
	1.75	450~1000	Travel≤100	4500	1600		3000
1350		Travel≤100	4500	4500			
1150/1600		Travel≤80	4500				
		80<Travel≤100	4850				
MS2021	1	410~1025	Travel≤100	4200	1400	2550	3000
		1365	Travel≤100	4300		2400	4500
		1160/1365	Travel≤80	4300			
			80<Travel≤100	4650			
	1.5	410~1025	Travel≤100	4400	1450	2550	3000
		1365	Travel≤100	4400		2400	4500
		1160/1365	Travel≤80	4400			
			80<Travel≤100	4750			
	1.75	410~1025	Travel≤100	4500	1600	2550	3000
		1365	Travel≤100	4500		2400	4500
		1160/1365	Travel≤80	4500			
			80<Travel≤100	4850			
Standard / EN	2	800~1600	Travel≤130	5100	1900	2300	4500
	2.5			5300	2200		

Technical Data

I Layout Dimensions | Speed : 1.0 m/s

[Standard]

(Unit : mm)

Speed (m/s)	Capacity		Opening Width (mm)	Car Size		Hoistway Size				Machine Room Size				Reaction Load			
						Simplex		Duplex		Simplex		Duplex		Machine Room		Pit	
	Person	Load(kg)		CW	CD	HW	HD	HW	HD	MW	MD	MW	MD	R1	R2	R3	R4
1.0	6	450	800	1400	850	1800	1500	3750	1500	1800	1500	3750	1500	3600	2000	3800	3150
	8	550	800	1400	1030	1800	1700	3750	1700	1800	1700	3750	1700	4050	2500	4550	3350
	9	600	800	1400	1130	1800	1750	3750	1750	1800	1750	3750	1750	4100	2500	4700	3450
	10	680	800	1400	1250	1800	1900	3750	1900	1800	1900	3750	1900	4200	2850	5000	3650
	11	750	800	1400	1350	1800	2000	3750	2000	1800	2000	3750	2000	4550	2900	5200	3750
	13	900	900	1600	1350	2000	2000	4150	2000	2000	2000	4150	2000	5100	3800	6300	4500
	15	1000	900	1600	1500	2000	2150	4150	2150	2000	2150	4150	2150	5450	4300	6600	4700
	17	1150	1000	1800	1500	2350	2200	4850	2200	2350	2200	4850	2200	8000	5200	9550	7150
			1100	2000	1350	2550	2050	5250	2050	2550	2050	5250	2050				
	20	1350	1000	1800	1700	2350	2400	4850	2400	2350	2400	4850	2400	8900	6000	10200	7500
			1100	2000	1500	2550	2200	5250	2200	2550	2200	5250	2200				
	24	1600	1100	2000	1750	2550	2450	5250	2450	2550	2450	5250	2450	10200	7000	10950	8700
				2150	1600	2700	2300	5550	2300	2700	2300	5550	2300				

[EN Code]

1.0	6	450	700	1150	1030	1800	1700	3750	1700	1800	1700	3750	1700	3600	2000	3800	3150
	7	525	800	1400	1030	1800	1700	3750	1700	1800	1700	3750	1700	4050	2500	4550	3350
	8	600	800	1400	1100	1800	1750	3750	1750	1800	1750	3750	1750	4100	2500	4700	3450
	9	680	800	1400	1250	1800	1900	3750	1900	1800	1900	3750	1900	4200	2850	5000	3650
	10	800	800	1400	1350	1800	2000	3750	2000	1800	2000	3750	2000	4550	2900	5200	3750
	12	900	900	1600	1350	2000	2000	4150	2000	2000	2000	4150	2000	5100	3800	6300	4500
	13	1000	900	1600	1500	2000	2150	4150	2150	2000	2150	4150	2150	5450	4300	6600	4700
	16	1150	1000	1800	1500	2350	2200	4850	2200	2350	2200	4850	2200	8000	5200	9550	7150
			1100	2000	1350	2550	2050	5250	2050	2550	2050	5250	2050				
	18	1350	1000	1800	1700	2350	2400	4850	2400	2350	2400	4850	2400	8900	6000	10200	7500
			1100	2000	1500	2550	2200	5250	2200	2550	2200	5250	2200				
	21	1600	1100	2000	1750	2550	2450	5250	2450	2550	2450	5250	2450	10200	7000	10950	8700
				2150	1600	2700	2300	5550	2300	2700	2300	5550	2300				

[Malaysia]

1.0	6	410	800	1400	830	1800	1500	3750	1500	1800	1500	3750	1500	3600	2000	3800	3150
	8	545	800	1400	1030	1800	1700	3750	1700	1800	1700	3750	1700	4050	2500	4550	3350
	9	615	800	1400	1150	1800	1800	3750	1800	1800	1800	3750	1800	4100	2500	4700	3450
	10	685	800	1400	1250	1800	1900	3750	1900	1800	1900	3750	1900	4200	2850	5000	3650
	11	750	800	1400	1350	1800	2000	3750	2000	1800	2000	3750	2000	4550	2900	5200	3750
	13	885	900	1600	1350	2000	2000	4150	2000	2000	2000	4150	2000	5100	3800	6300	4500
	15	1025	900	1600	1550	2000	2200	4150	2200	2000	2200	4150	2200	5450	4300	6600	4700
	17	1160	1000	1800	1500	2350	2200	4850	2200	2350	2200	4850	2200	8000	5200	9550	7150
	20	1365	1000	1800	1750	2350	2450	4850	2450	2350	2450	4850	2450	8900	6000	10200	7500
			1100	2000	1550	2550	2250	5250	2250	2550	2250	5250	2250				
	24	1635	1100	2000	1800	2550	2500	5250	2500	2550	2500	5250	2500	10200	7000	10950	8700

Mechanical Rebar Splice Solutions





ABOUT US

BARUS® LLC, incorporated in California, USA, is a global design, manufacturing and service company of engineered splice solutions for the heavy construction industry. BARUS mechanical reinforcing bar couplers, anchorage, structural products, pre-cast connectors and similar value-added engineered splice systems offer a variety of solutions to meet the challenges of heavy construction.

Powered by manufacturing and engineering capabilities, BARUS is committed to exceptional customer satisfaction, sustainable product initiatives and service quality at every job site. Because BARUS values our customers, we employ a dedicated staff of administrators, engineers, and technicians to ensure that we provide the best customer service possible.



DESIGN

Our Research and Development team is comprised of skilled Mechanical, Civil and Industrial Engineers. These dedicated professionals specialize in rebar splice solutions for challenging construction projects. In addition to the products in our catalogs, we can custom design special mechanical connectors and a variety of other engineered steel products to fit the needs of each project. For large-scale projects, we also offer solutions for your rebar splice design problems.

PRODUCTION

BARUS production follows the guidelines established by our Quality Assurance Program and we are certified by an ISO 9001 Quality Management Systems accredited agency. Our certification was granted because quality and accountability are two major pillars in our production process. All of our materials, documents and processes are carefully filed for traceability and a tracing code is printed on each product we produce.

BARUS also manufactures rebar splicing solutions locally to avoid long lead times, transportation and customs issues, and the expenses of manufacturing abroad.

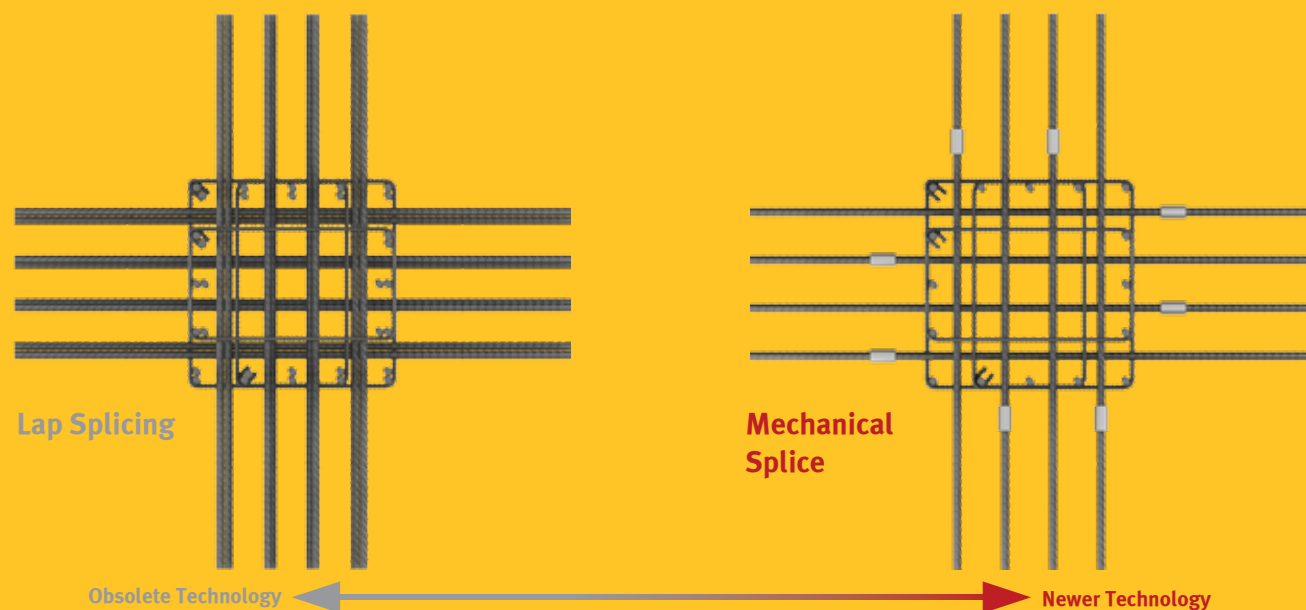


SERVICE

BARUS assists our customers throughout the entire production process: from concept and design to the installation at the job site. Our aim is to provide the most applicable and economical design solutions for mechanical couplers.

Along with our design and manufacturing abilities, we also offer an extensive array of related services, such as rebar upsetting and threading, at your job site. In addition, our equipment and technicians are available for the duration of the project so that you don't need to purchase any equipment or hire extra technicians.

BENEFITS of MECHANICAL SPLICING



WHY A MECHANICAL SPLICE?

Due to the growing technical challenges faced in today's construction industry, traditional methods for connecting rebar, such as lapping or welding, are no longer the best methods to connect rebar. More and more construction codes are specifying a mechanical coupler because it provides better structural integrity while minimizing costs. Here you can find some benefits of using BARUS mechanical couplers listed below:

- **More reliable and more structural integrity than lap splices because they no longer rely on the concrete for load transfer**
- Lowers the risk of rock and air pockets by reducing rebar congestion
- **Efficient and easy design options result in smaller and stronger columns with the maximum amount of useful area**
- Avoids drilling and/or cutting forms, especially in crane, elevator openings, and stairwells
- **Installs easily and quickly**
- Reduces the amount of rebar, which reduces the labor and crane time – improving the construction schedule
- **No lapping length necessary – reduces inventory which lowers cost**
- Better splice inspection – lowers quality control costs
- **Allows for same line splicing – no staggered splices**
- Minimizes rebar waste

2000s
High Tech Mechanical Coupler

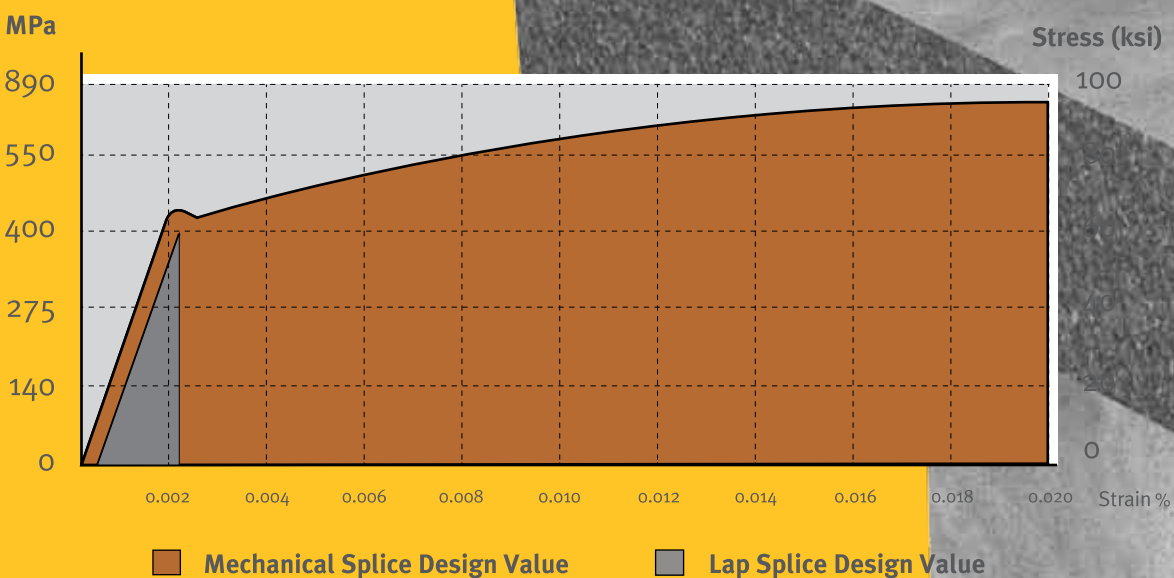
1900s
Obsolete connection method

SIMPLICITY

allows for the design of fast, easy, economic, and ultimately, enjoyable construction projects.

More and more engineers are specifying mechanical rebar connections over lap splices. They have found that mechanical connections provide reliability and consistency that can not be found in lap splicing.

Stress - Strain Diagram



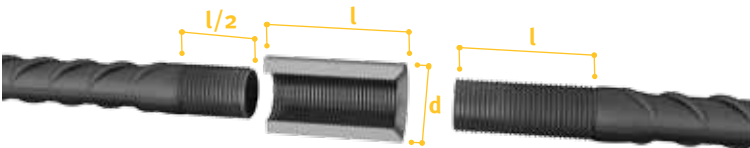


simGRIP™ Lt

The SimGrip™ LT System is used in applications where it is more difficult to rotate the continuation bar. It is comprised of the same coupler as the SimGrip™ System, however, one bar is threaded for a full coupler length.



simGRIP™ Lt INSTALLATION



Metric Dimensions	Bar Diameter	12	14	16	18	20	22	25	28	30	32	36	40	50
	External Dia (d)(mm)	17	20	25	28	30	35	36	40	43	45	50	55	75
	Coupler Length (l)(mm)	30	35	40	45	49	51	59	63	65	70	80	82	100
	Thread Size (Metric)	M14x2,0	M16x2,0	M20x2,5	M22x2,5	M24x3,0	M27x3,0	M30x3,5	M33x3,5	M36x4,0	M36x4,0	M39x4,0	M45x4,5	M56x5,5
	Color Code	Orange	Purple	Pink	Grass Green	Dark Green	White	Blue	Levander	Grey	Yellow	Brown	Red	Black
	Weight (kg)	0.04	0.07	0.09	0.12	0.16	0.26	0.32	0.43	0.50	0.58	0.87	1.13	1.97
	Product Code	SGLT12	SGLT14	SGLT16	SGLT18	SGLT20	SGLT22	SGLT25	SGLT28	SGLT30	SGLT32	SGLT36	SGLT40	SGLT50

Imperial Dimensions	Bar Diameter	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#14	#18
	External Dia (d)(inch)	5/8	1	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 6/8	2	2 3/8	3 3/8
	Coupler Length (l)(inch)	1 1/8	1 5/8	1 7/8	2	2 3/8	2 4/8	2 6/8	3 1/8	3 4/8	4 4/8
	Thread Size (UNC)	5/16-18	3/8-24	7/16-20	1/2-13	1/2-20	9/16-12	9/16-18	5/8-11	3/4-16	1"-14
	Color Code	Orange	Pink	Dark Green	White	Blue	Levander	Yellow	Brown	Claret Red	Black
	Weight (lbs)	0.09	0.20	0.35	0.57	0.71	0.95	1.28	1.92	2.68	4.95
	Product Code	SGLT#4	SGLT#5	SGLT#6	SGLT#7	SGLT#8	SGLT#9	SGLT#10	SGLT#11	SGLT#14	SGLT#18

01

Remove the plastic cap from the rebar.



02

Screw the coupler onto the fixed bar until it hits the end of the threading and lock tight. The bar end should be centered within the coupler.



03

Attach the continuation bar into the coupler and rotate as far as the continuation bar will turn.



04

Tighten the joint using a wrench on the continuation bar.



COATING OPTIONS

Epoxy coated mechanical couplers for splicing epoxy coated bars that comply with ASTM A775/A775M.

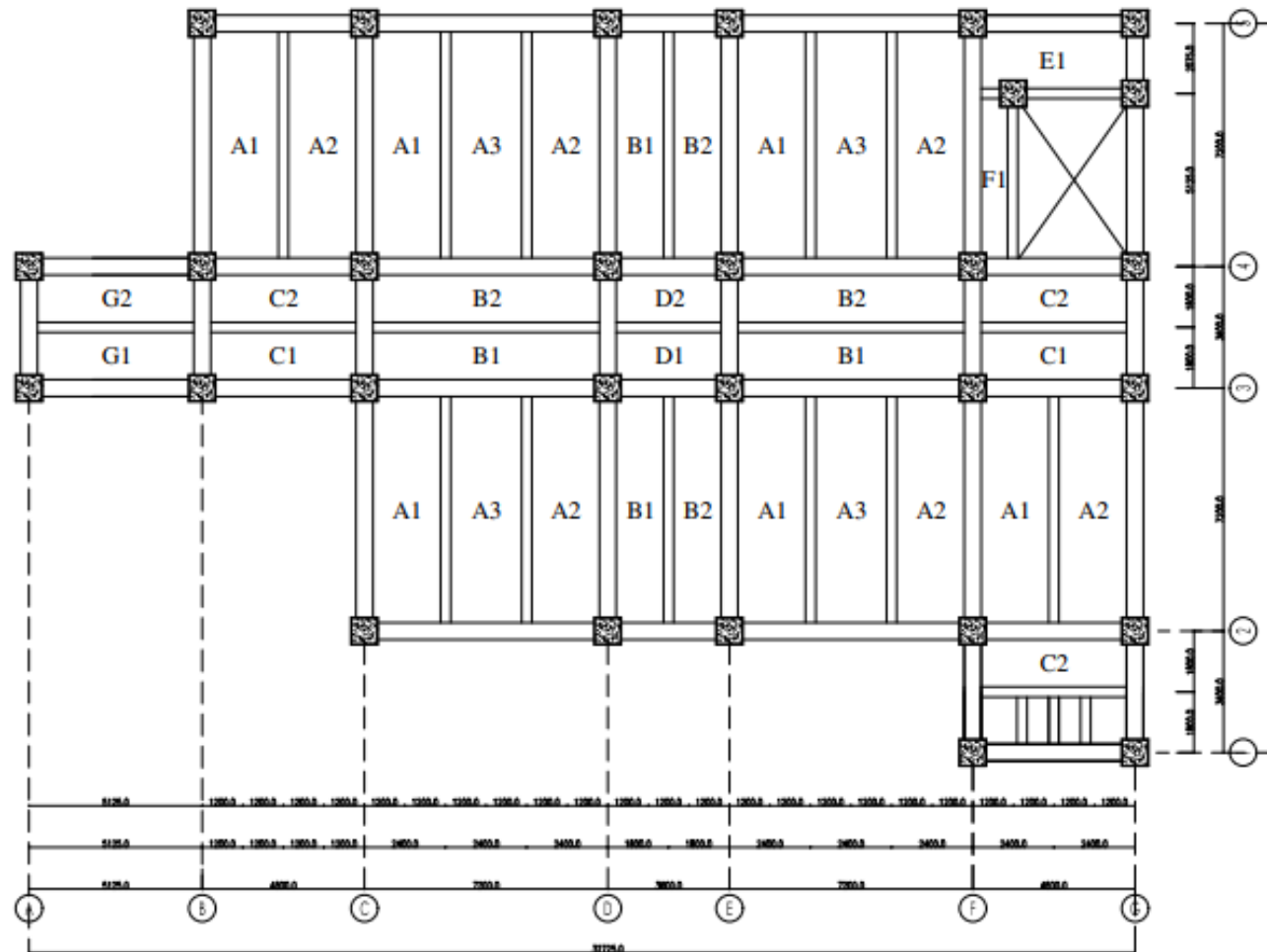
Hot dip galvanized mechanical couplers for splicing galvanized bars that comply with ASTM A767/A767M.

Stainless steel SimGrip™ couplers for splicing stainless steel bars and special use.

After tightening, there should be no more than 2-4 mm of thread exposed plus half the length of the coupler depending on the diameter of the rebar. Detailed visual control and quality assurance information are available upon request.

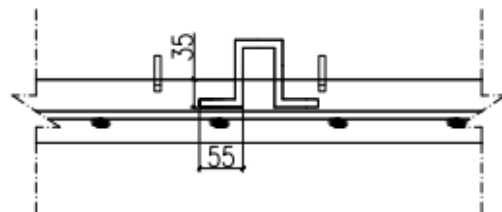
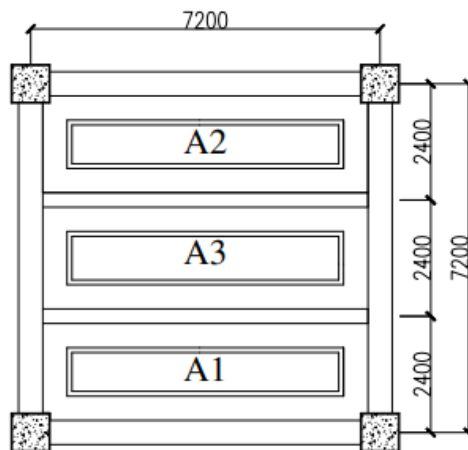
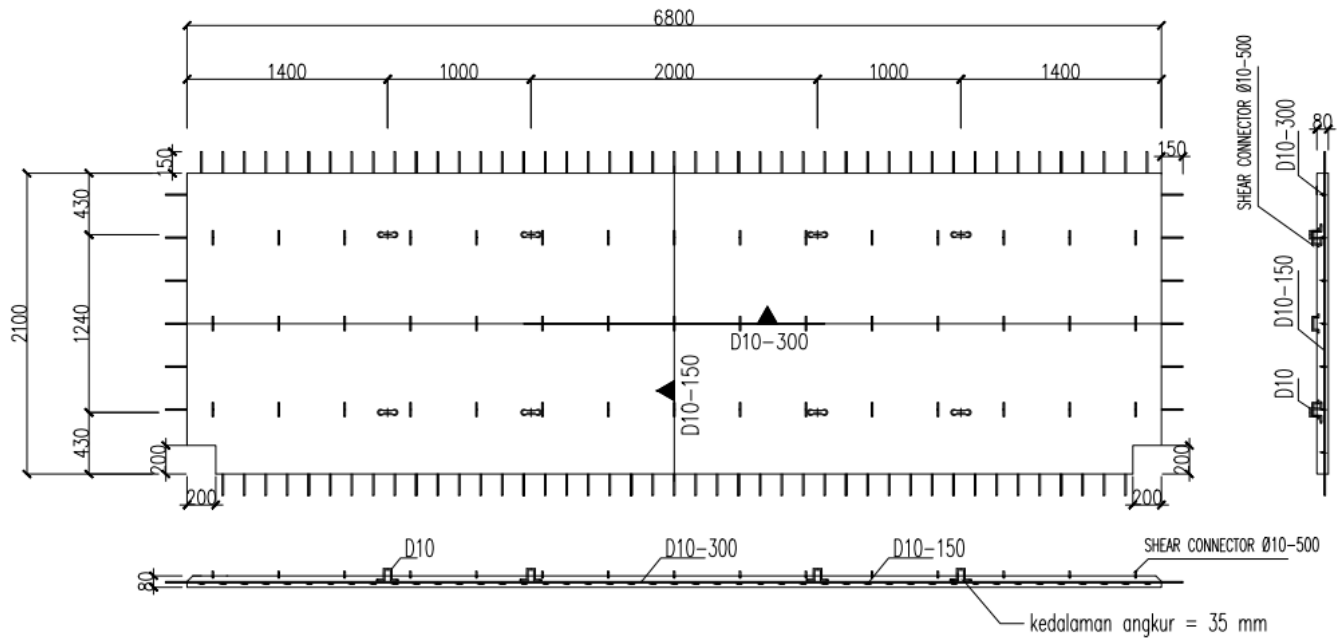
Contact BARUS for reusable accessories and waste-reducing products for LEED and environmentally friendly projects.

(Proyek Gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya)



SPESIFIKASI PELAT PRACETAK

(Proyek Gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya)



TABEL SPESIFIKASI PELAT PRACETAK

Tipe Pelat	Tebal Selimut mm	Tebal Pelat		Dimensi Pelat		Berat kg	Jumlah	Tulangan Utama mm	Tulangan Pembagi mm	Stud mm	Idh mm	Tulangan Angkat mm
		Pracetak	Topping	Lx	Ly							
A1	20	80	60	2100	6800	4718	48	D10-150	D10-300	2Ø10-500	150	D10
A2	20	80	60	2200	6800	4943	48	D10-150	D10-300	2Ø10-500	150	D10
A3	20	80	60	2100	6800	4718	32	D10-150	D10-300	2Ø10-500	150	D10

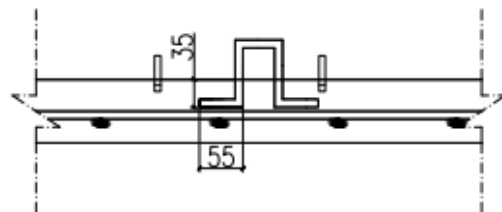
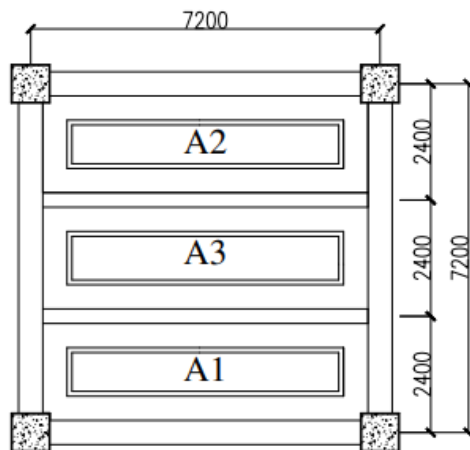
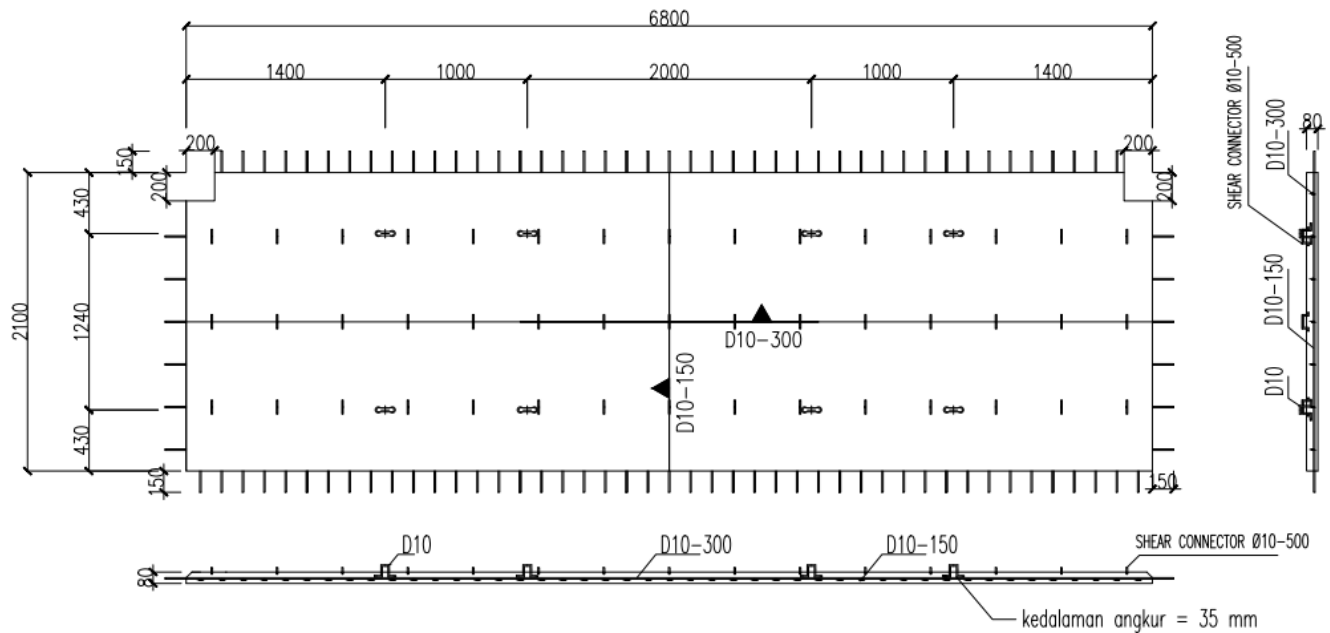
Note:

Mutu Beton (f_c') = 35 MPa

Mutu Baja (f_y) = 400 MPa

SPESIFIKASI PELAT PRACETAK

(Proyek Gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya)



TABEL SPESIFIKASI PELAT PRACETAK

Tipe Pelat	Tebal Selimut mm	Tebal Pelat		Dimensi Pelat		Berat kg	Jumlah	Tulangan Utama mm	Tulangan Pembagi mm	Stud mm	Idh mm	Tulangan Angkat mm
		Pracetak	Topping	Lx	Ly							
A1	20	80	60	2100	6800	4718	48	D10-150	D10-300	2Ø10-500	150	D10
A2	20	80	60	2200	6800	4943	48	D10-150	D10-300	2Ø10-500	150	D10
A3	20	80	60	2100	6800	4718	32	D10-150	D10-300	2Ø10-500	150	D10

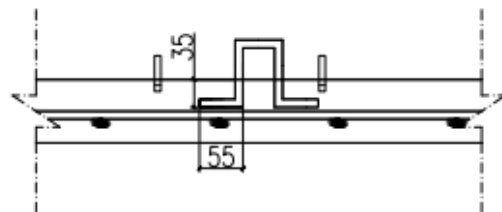
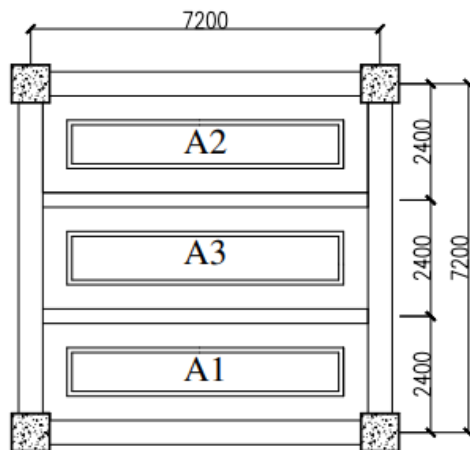
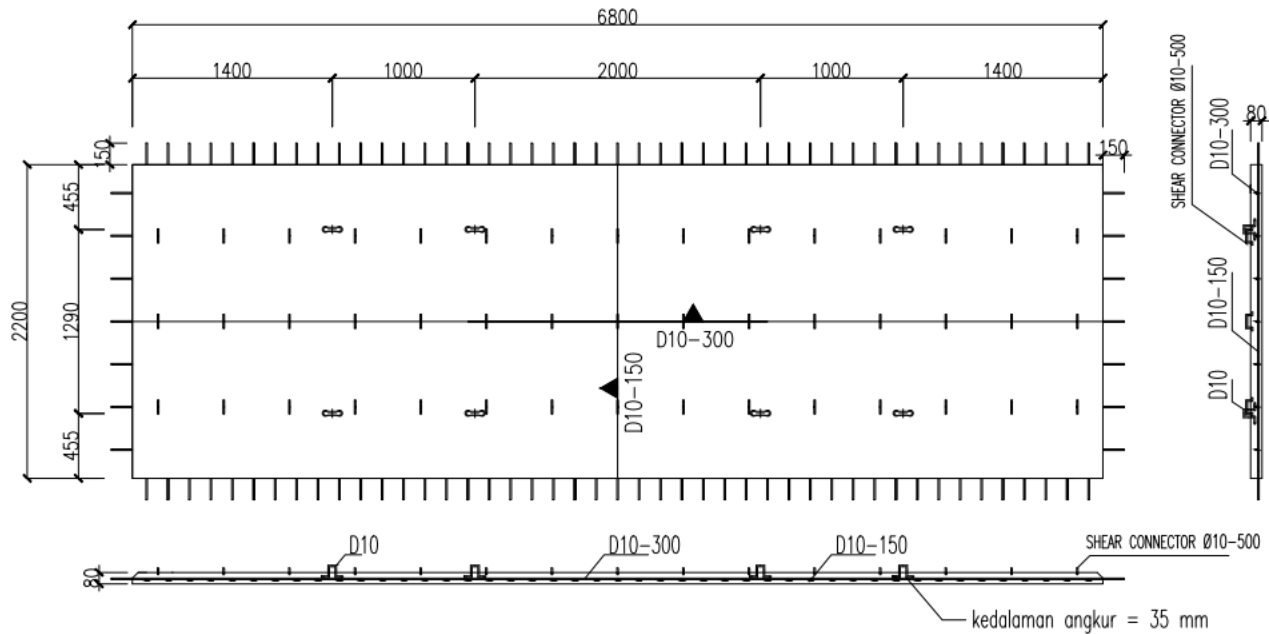
Note:

Mutu Beton (f_c') = 35 MPa

Mutu Baja (f_y) = 400 MPa

SPESIFIKASI PELAT PRACETAK

(Proyek Gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya)



TABEL SPESIFIKASI PELAT PRACETAK

Tipe Pelat	Tebal Selimut mm	Tebal Pelat		Dimensi Pelat		Berat kg	Jumlah	Tulangan Utama mm	Tulangan Pembagi mm	Stud mm	Idh mm	Tulangan Angkat mm
		Pracetak	Topping	Lx	Ly							
A1	20	80	60	2100	6800	4718	48	D10-150	D10-300	2Ø10-500	150	D10
A2	20	80	60	2200	6800	4943	48	D10-150	D10-300	2Ø10-500	150	D10
A3	20	80	60	2100	6800	4718	32	D10-150	D10-300	2Ø10-500	150	D10

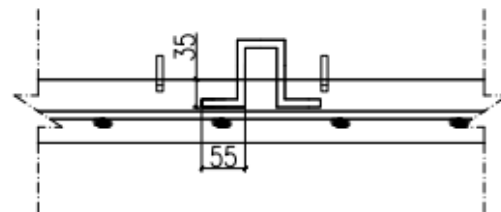
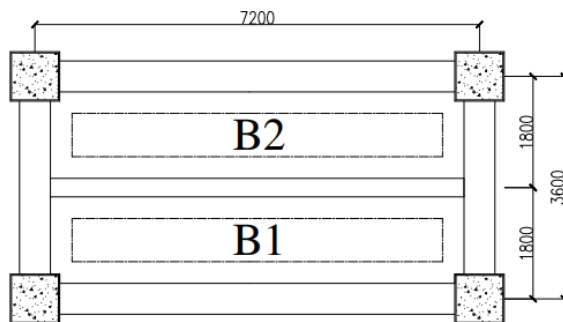
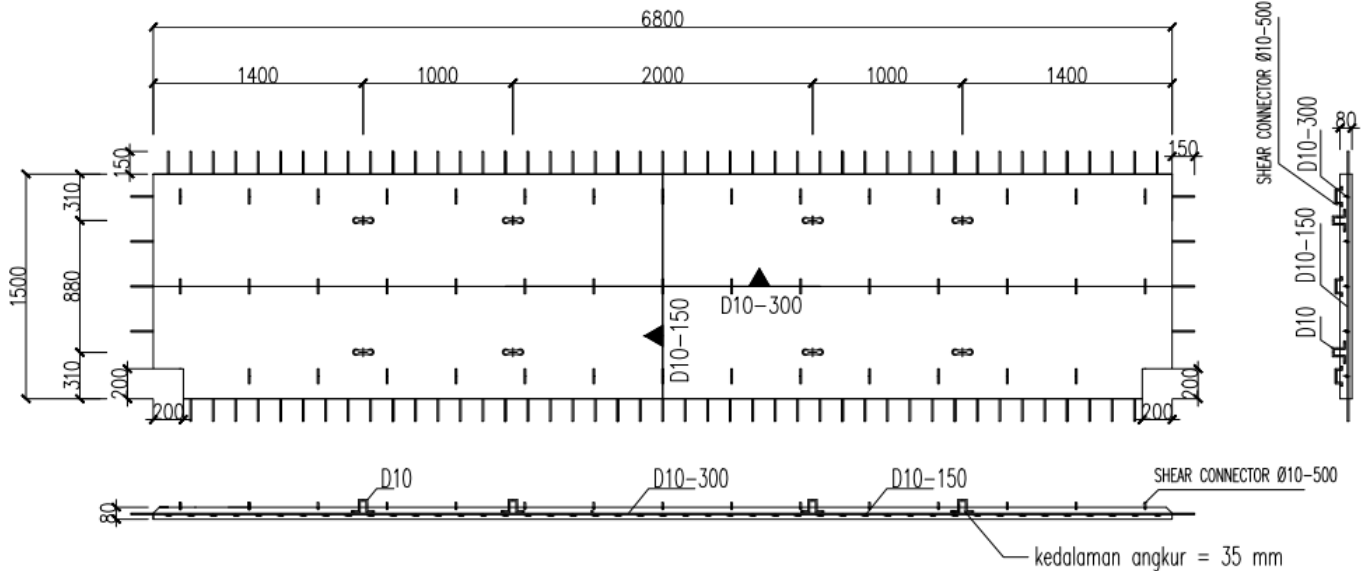
Note:

Mutu Beton (f_c') = 35 MPa

Mutu Baja (f_y) = 400 MPa

SPESIFIKASI PELAT PRACETAK

(Proyek Gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya)



TABEL SPESIFIKASI PELAT PRACETAK

Tipe Pelat	Tebal Selimut	Tebal Pelat		Dimensi Pelat		Berat	Jumlah	Tulangan Utama	Tulangan Pembagi	Stud	Idh	Tulangan Angkat
		Pracetak	Topping	Lx	Ly							
	mm	mm	mm	mm	mm	kg		mm	mm	mm	mm	mm
B1	20	80	60	1500	6800	3370	32	D10-150	D10-300	2Ø10-500	150	D10
B2	20	80	60	1500	6800	3370	32	D10-150	D10-300	2Ø10-500	150	D10

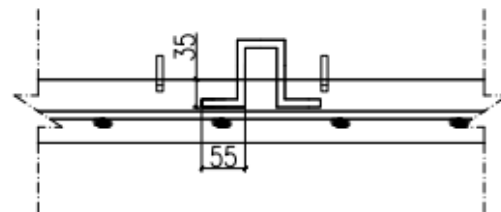
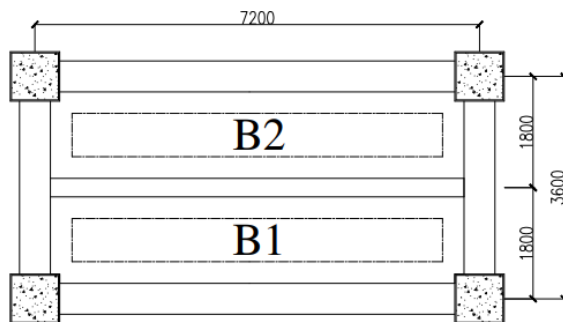
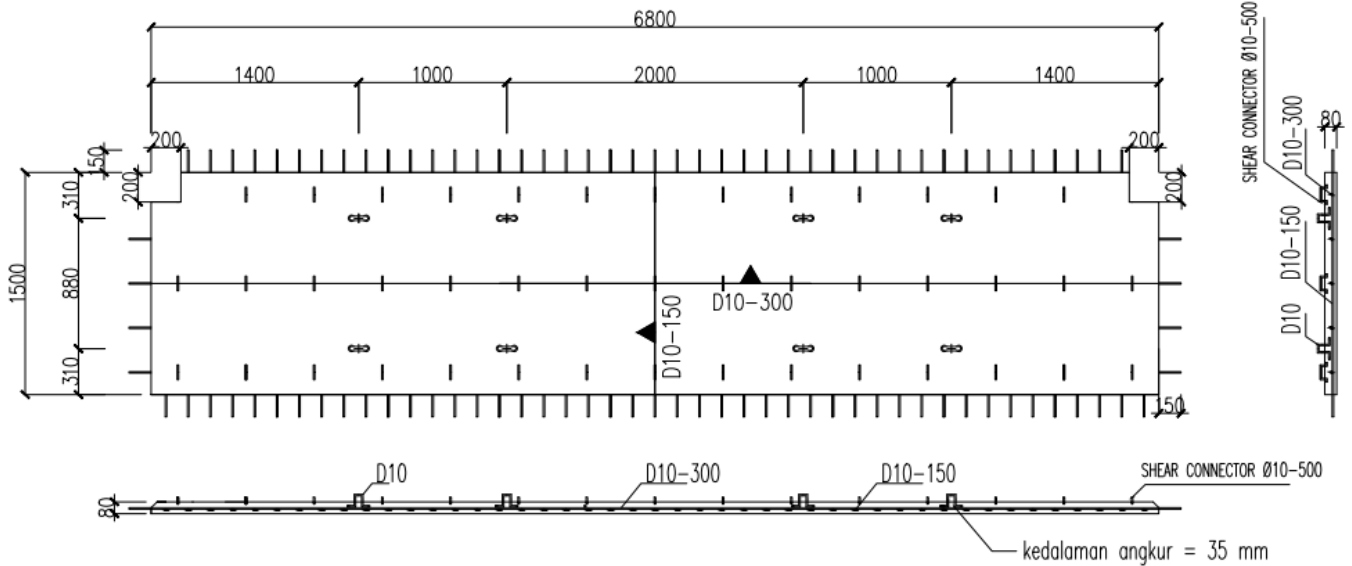
Note:

Mutu Beton (f_c') = 35 MPa

Mutu Baja (f_y) = 400 MPa

SPESIFIKASI PELAT PRACETAK

(Proyek Gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya)



TABEL SPESIFIKASI PELAT PRACETAK

Tipe Pelat	Tebal Selimut	Tebal Pelat		Dimensi Pelat		Berat	Jumlah	Tulangan Utama	Tulangan Pembagi	Stud	Idh	Tulangan Angkat
		Pracetak	Topping	Lx	Ly							
	mm	mm	mm	mm	mm	kg		mm	mm	mm	mm	mm
B1	20	80	60	1500	6800	3370	32	D10-150	D10-300	2Ø10-500	150	D10
B2	20	80	60	1500	6800	3370	32	D10-150	D10-300	2Ø10-500	150	D10

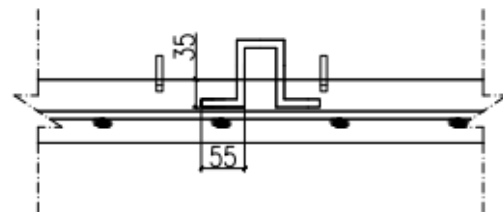
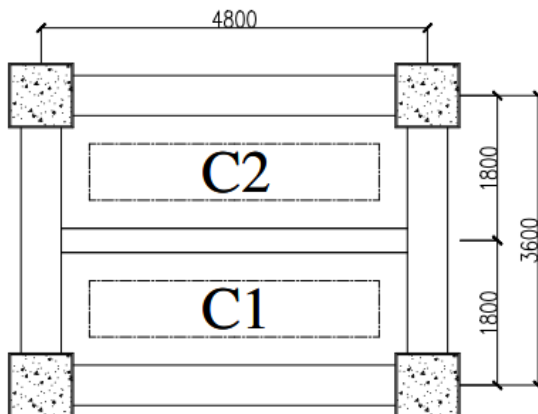
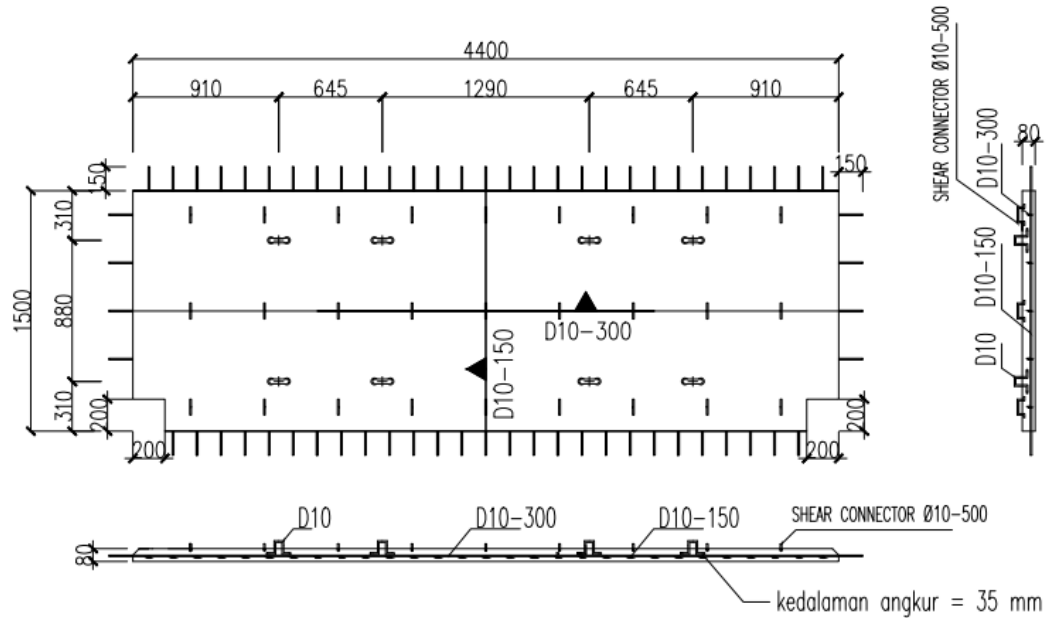
Note:

Mutu Beton (f_c') = 35 MPa

Mutu Baja (f_y) = 400 MPa

SPESIFIKASI PELAT PRACETAK

(Proyek Gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya)



TABEL SPESIFIKASI PELAT PRACETAK

Tipe Pelat	Tebal Selimut	Tebal Pelat		Dimensi Pelat		Berat	Jumlah	Tulangan Utama	Tulangan Pembagi	Stud	Idh	Tulangan Angkat
		Pracetak	Topping	Lx	Ly							
	mm	mm	mm	mm	mm	kg		mm	mm	mm	mm	mm
C1	20	80	60	1500	4400	2181	16	D10-150	D10-300	2Ø10-500	150	D10
C2	20	80	60	1500	4400	2181	24	D10-150	D10-300	2Ø10-500	150	D10

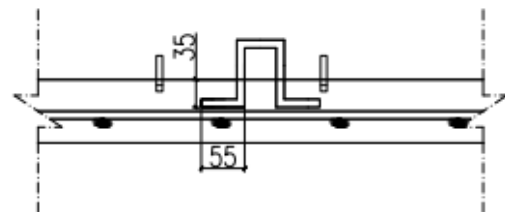
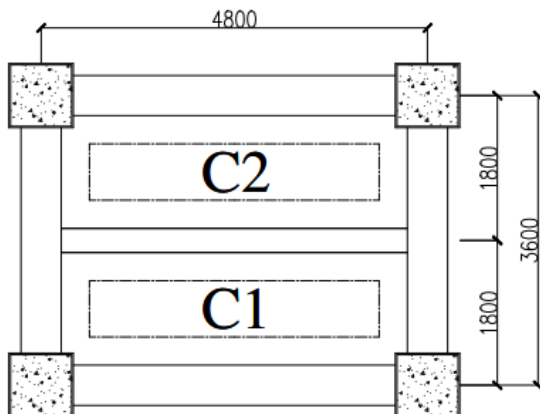
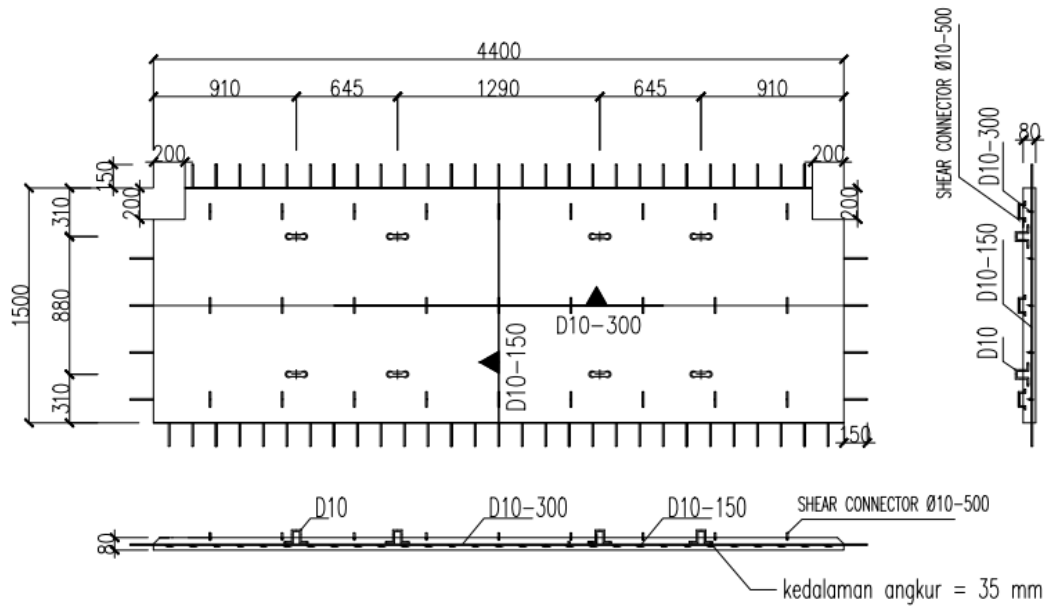
Note:

Mutu Beton (f_c') = 35 MPa

Mutu Baja (f_y) = 400 MPa

SPESIFIKASI PELAT PRACETAK

(Proyek Gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya)



TABEL SPESIFIKASI PELAT PRACETAK

Tipe Pelat	Tebal Selimut mm	Tebal Pelat		Dimensi Pelat		Berat kg	Jumlah	Tulangan Utama mm	Tulangan Pembagi mm	Stud mm	Idh mm	Tulangan Angkat mm
		Pracetak	Topping	Lx	Ly							
C1	20	80	60	1500	4400	2181	16	D10-150	D10-300	2Ø10-500	150	D10
C2	20	80	60	1500	4400	2181	24	D10-150	D10-300	2Ø10-500	150	D10

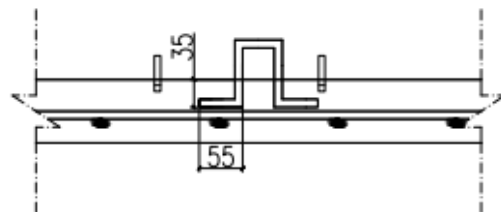
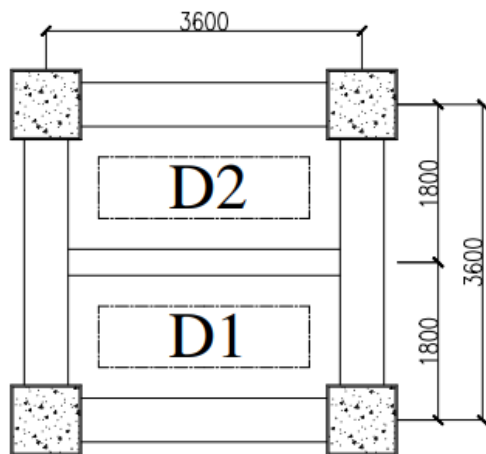
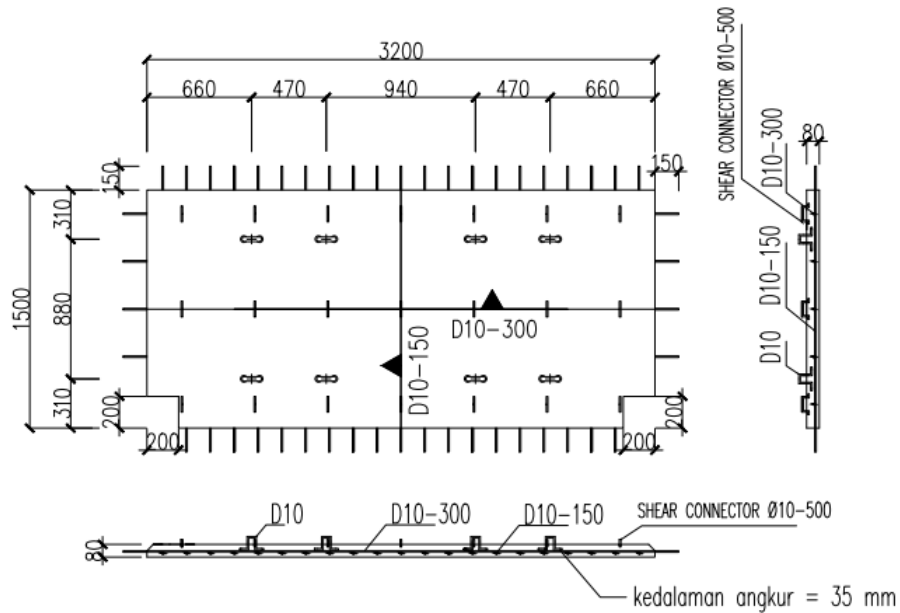
Note:

Mutu Beton (f_c') = 35 MPa

Mutu Baja (f_y) = 400 MPa

SPESIFIKASI PELAT PRACETAK

(Proyek Gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya)



TABEL SPESIFIKASI PELAT PRACETAK

Tipe Pelat	Tebal Selimut	Tebal Pelat		Dimensi Pelat		Berat	Jumlah	Tulangan Utama	Tulangan Pembagi	Stud	Idh	Tulangan Angkat
		Pracetak	Topping	Lx	Ly							
	mm	mm	mm	mm	mm	kg		mm	mm	mm	mm	mm
D1	20	80	60	1500	3200	1586	8	D10-150	D10-300	2Ø10-500	150	D10
D2	20	80	60	1500	3200	1586	8	D10-150	D10-300	2Ø10-500	150	D10

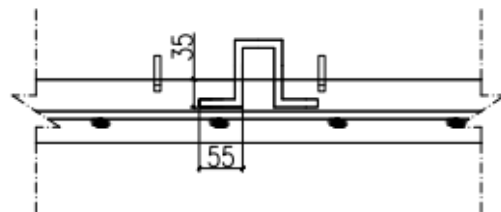
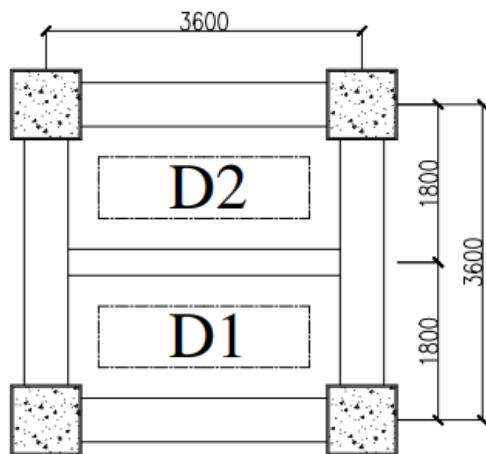
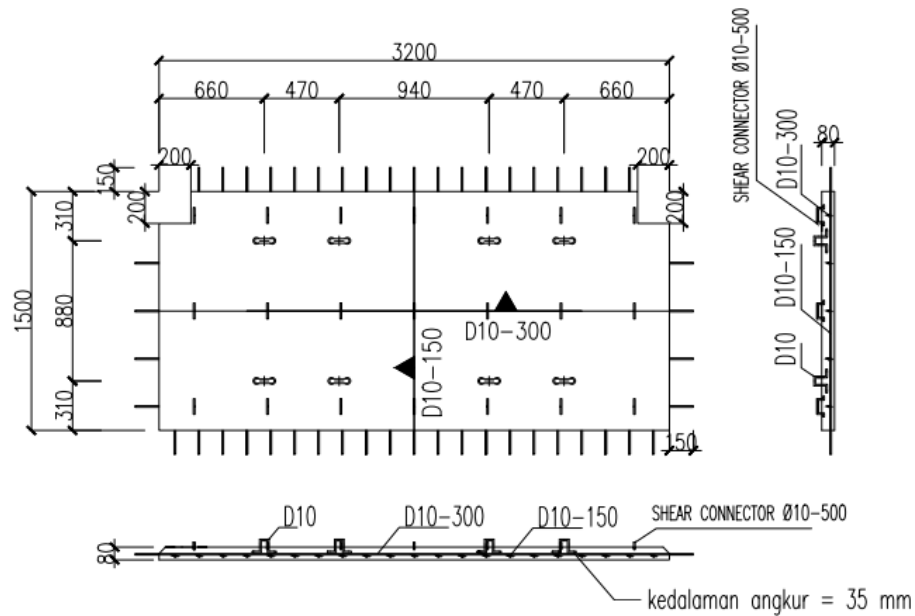
Note:

Mutu Beton (f_c') = 35 MPa

Mutu Baja (f_y) = 400 MPa

SPESIFIKASI PELAT PRACETAK

(Proyek Gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya)



TABEL SPESIFIKASI PELAT PRACETAK

Tipe Pelat	Tebal Selimut	Tebal Pelat		Dimensi Pelat		Berat	Jumlah	Tulangan Utama	Tulangan Pembagi	Stud	Idh	Tulangan Angkat
		Pracetak	Topping	Lx	Ly							
	mm	mm	mm	mm	mm	kg		mm	mm	mm	mm	mm
D1	20	80	60	1500	3200	1586	8	D10-150	D10-300	Ø10-500	150	D10
D2	20	80	60	1500	3200	1586	8	D10-150	D10-300	Ø10-500	150	D10

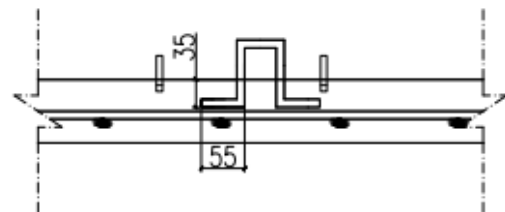
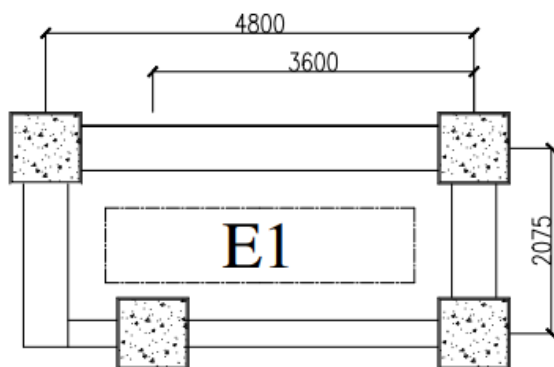
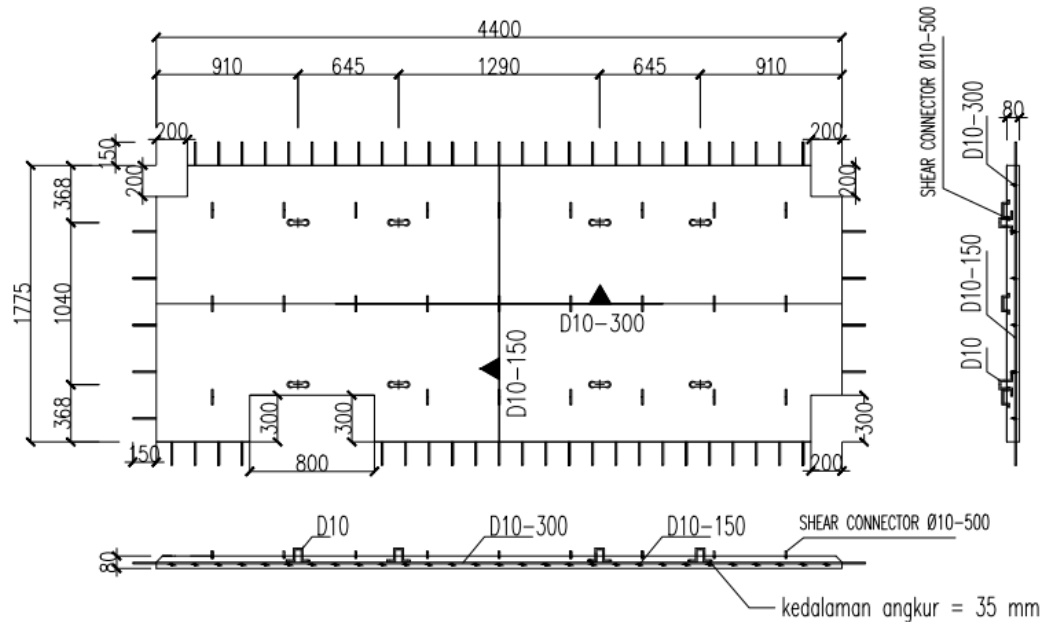
Note:

Mutu Beton (f_c') = 35 MPa

Mutu Baja (f_y) = 400 MPa

SPESIFIKASI PELAT PRACETAK

(Proyek Gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya)



TABEL SPESIFIKASI PELAT PRACETAK

Tipe Pelat	Tebal Selimut	Tebal Pelat		Dimensi Pelat		Berat	Jumlah	Tulangan Utama	Tulangan Pembagi	Stud	Idh	Tulangan Angkat
		Pracetak	Topping	Lx	Ly							
E1	20	80	60	1775	4400	2580	8	D10-150	D10-300	2Ø10-500	150	D10

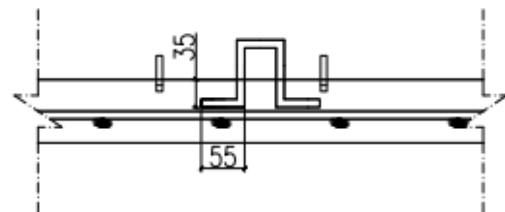
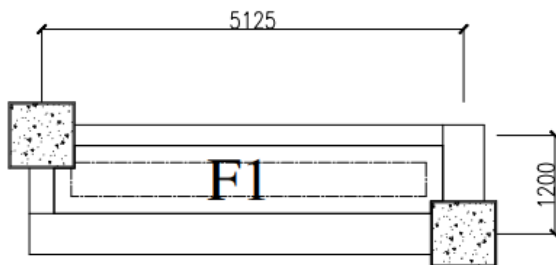
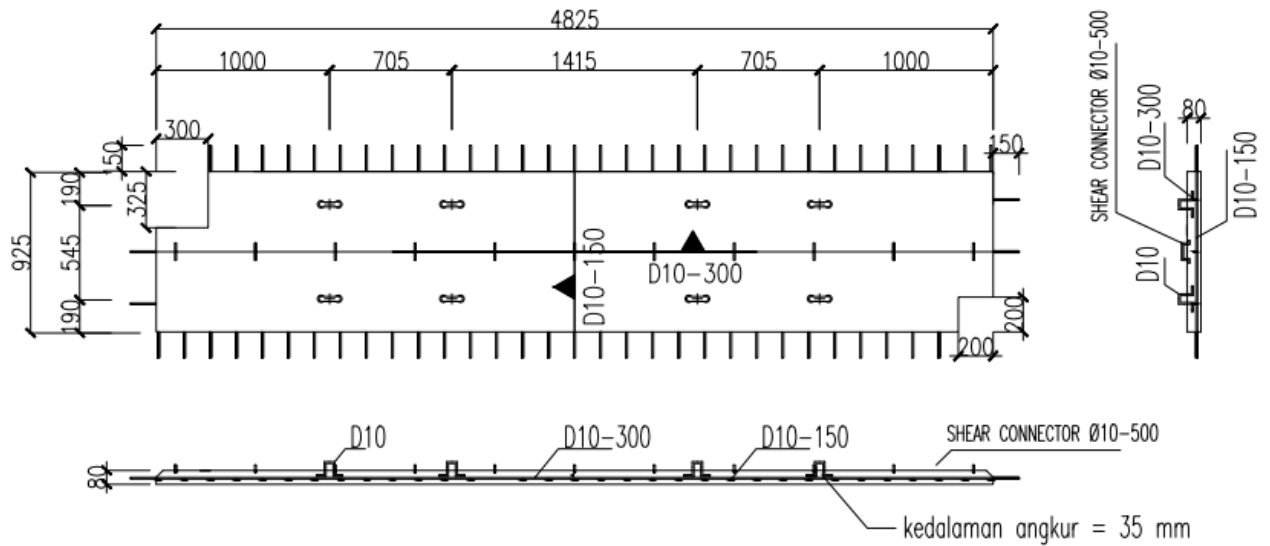
Note:

Mutu Beton (f_c') = 35 MPa

Mutu Baja (f_y) = 400 MPa

SPESIFIKASI PELAT PRACETAK

(Proyek Gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya)



TABEL SPESIFIKASI PELAT PRACETAK

Tipe Pelat	Tebal Selimut mm	Tebal Pelat		Dimensi Pelat		Berat kg	Jumlah	Tulangan Utama	Tulangan Pembagi	Stud	Idh	Tulangan Angkat
		Pracetak	Topping	Lx	Ly			mm	mm	mm	mm	mm
F1	20	80	60	925	4825	1475	8	D10-150	D10-300	2Ø10-500	150	D10

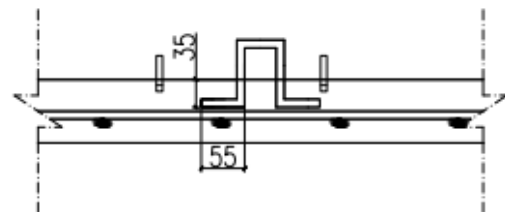
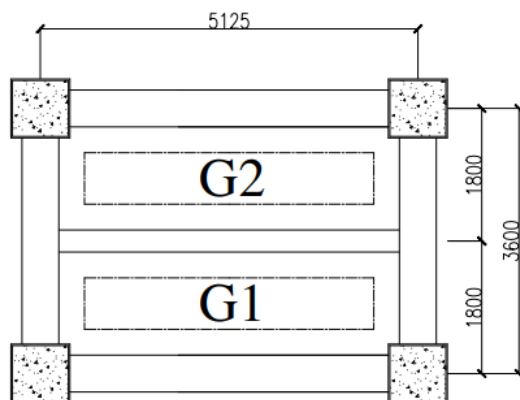
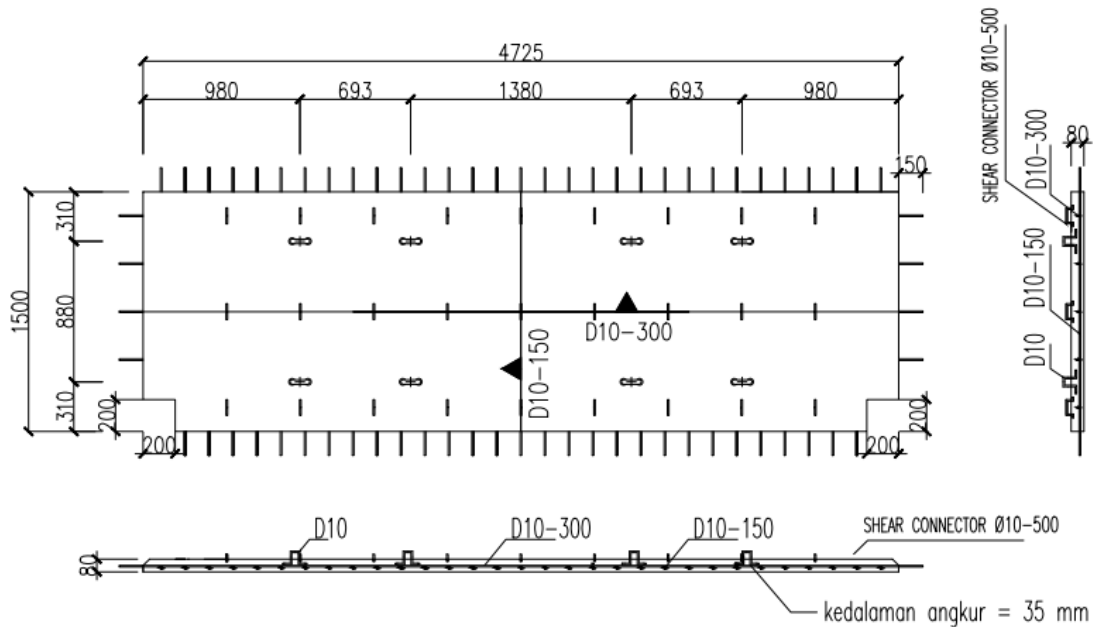
Note:

Mutu Beton (f_c') = 35 MPa

Mutu Baja (f_y) = 400 MPa

SPESIFIKASI PELAT PRACETAK

(Proyek Gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya)



TABEL SPESIFIKASI PELAT PRACETAK

Tipe Pelat	Tebal Selimut	Tebal Pelat		Dimensi Pelat		Berat	Jumlah	Tulangan Utama	Tulangan Pembagi	Stud	Idh	Tulangan Angkat
		Pracetak	Topping	Lx	Ly							
	mm	mm	mm	mm	mm	kg		mm	mm	mm	mm	mm
G1	20	80	60	1500	4725	2342	1	D10-150	D10-300	2Ø10-500	150	D10
G2	20	80	60	1500	4725	2342	1	D10-150	D10-300	2Ø10-500	150	D10

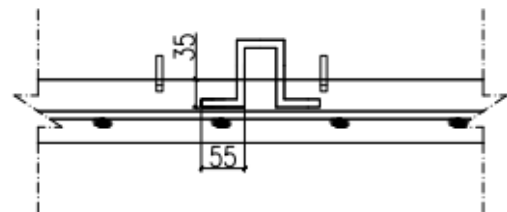
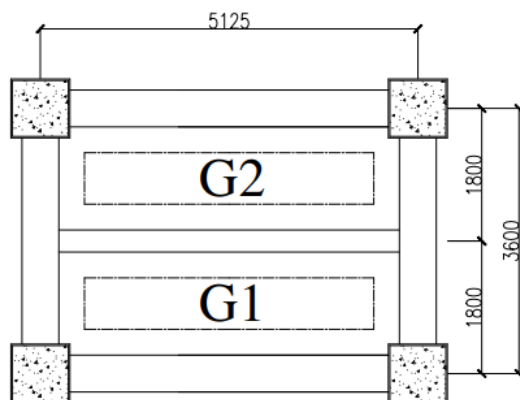
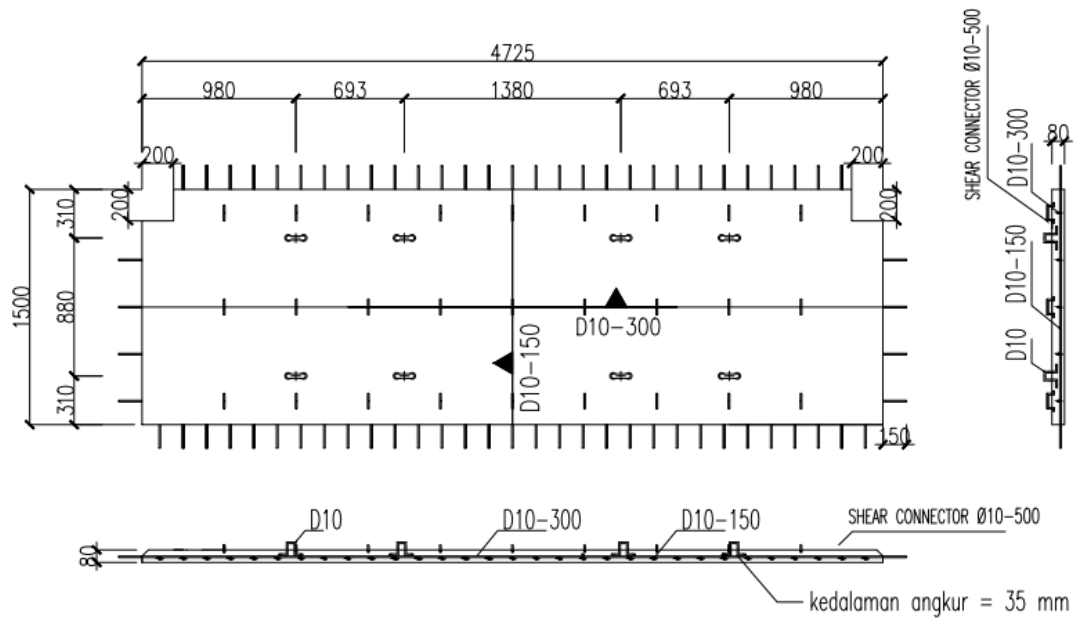
Note:

Mutu Beton (f_c') = 35 MPa

Mutu Baja (f_y) = 400 MPa

SPESIFIKASI PELAT PRACETAK

(Proyek Gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya)



TABEL SPESIFIKASI PELAT PRACETAK

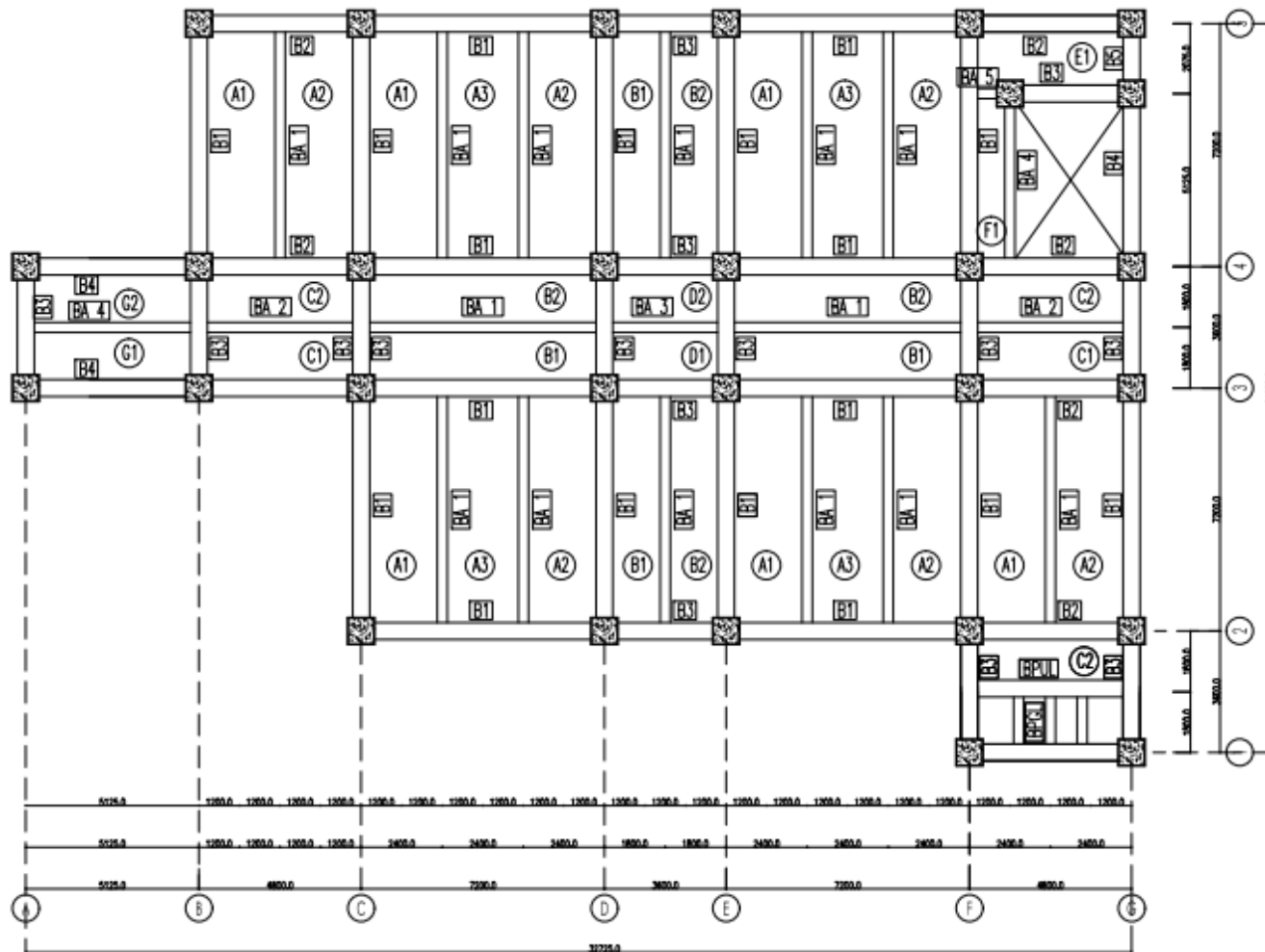
Tipe Pelat	Tebal Selimut	Tebal Pelat		Dimensi Pelat		Berat	Jumlah	Tulangan Utama	Tulangan Pembagi	Stud	Idh	Tulangan Angkat
		Pracetak	Topping	Lx	Ly							
	mm	mm	mm	mm	mm	kg		mm	mm	mm	mm	mm
G1	20	80	60	1500	4725	2342	1	D10-150	D10-300	2Ø10-500	150	D10
G2	20	80	60	1500	4725	2342	1	D10-150	D10-300	2Ø10-500	150	D10

Note:

Mutu Beton (f_c') = 35 MPa

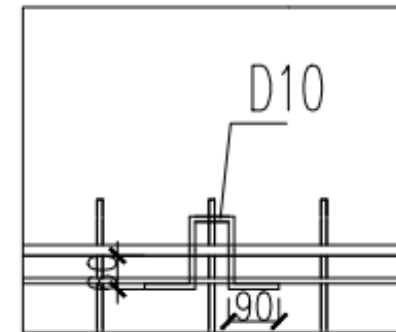
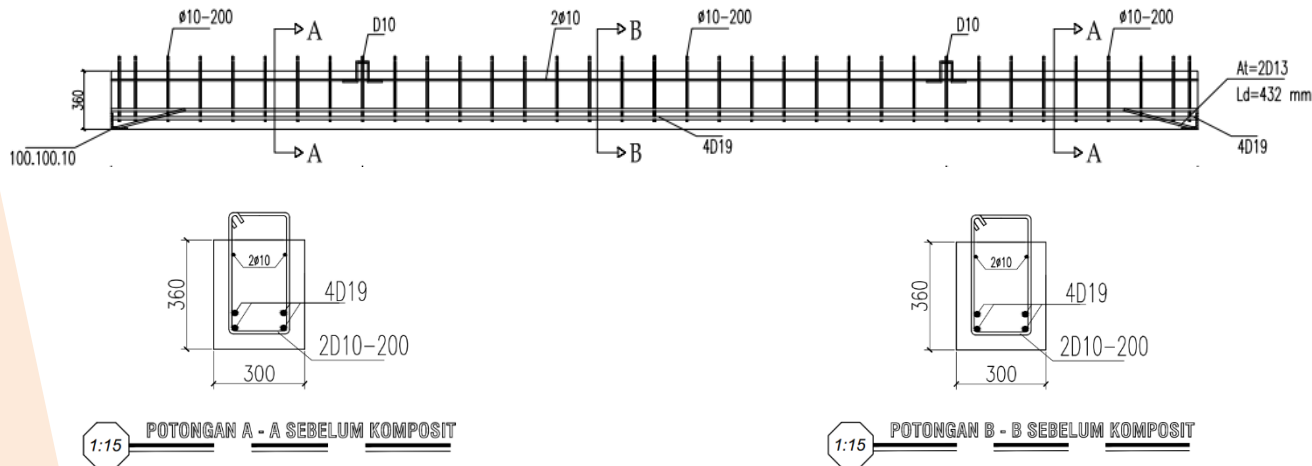
Mutu Baja (f_y) = 400 MPa

(Proyek Gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya)



DENAH PEMASANGAN BALOK PRACETAK

(Proyek Gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya)



TABEL SPESIFIKASI BALOK ANAK PRACETAK

Tipe Balok	Tebal Selimut	Tinggi Balok Anak		Dimensi Balok Anak				Berat Pracetak	Jumlah	Tulangan Tumpuan		Tulangan Lapangan		Sengkang	Tulangan Angkat
		Pracetak	Toping	Ln	b	h1	h2			Atas	Bawah	Atas	Bawah		
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	Mm	kg		mm	mm	mm	mm	mm	mm
BA1	50	360	140	6700	300	360	500	1710	112	5D19	4D19	2D19	4D19	2Ø10-200	2D10
BA2	50	360	140	4300	300	360	500	1100	16	2D19	2D19	2D19	2D19	2Ø10-200	2D10
BA3	50	360	140	3100	300	360	500	790	8	2D19	2D19	2D19	2D19	2Ø10-200	2D10
BA4	50	360	140	4625	300	360	500	1180	16	2D19	2D19	2D19	2D19	2Ø10-200	2D10
BA5	50	360	140	550	300	360	500	140	8	2D19	2D19	2D19	2D19	2Ø10-200	2D10

Note:

Mutu Beton (f_c') = 35 MPa

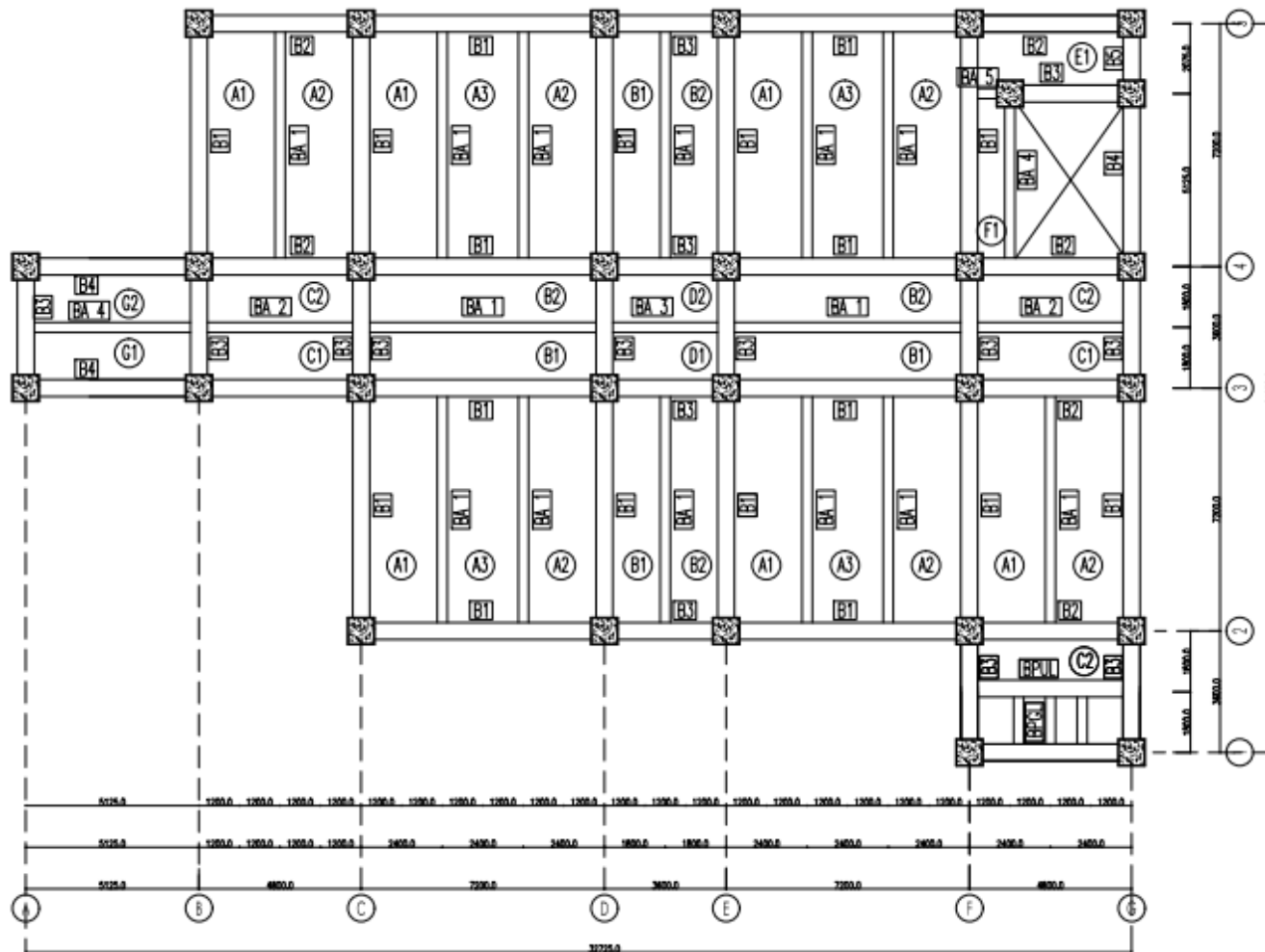
Mutu Baja (f_y) = 400 MPa

h1 = Tinggi Balok Sebelum Komposit

h2 = Tinggi Balok Setelah Komposit

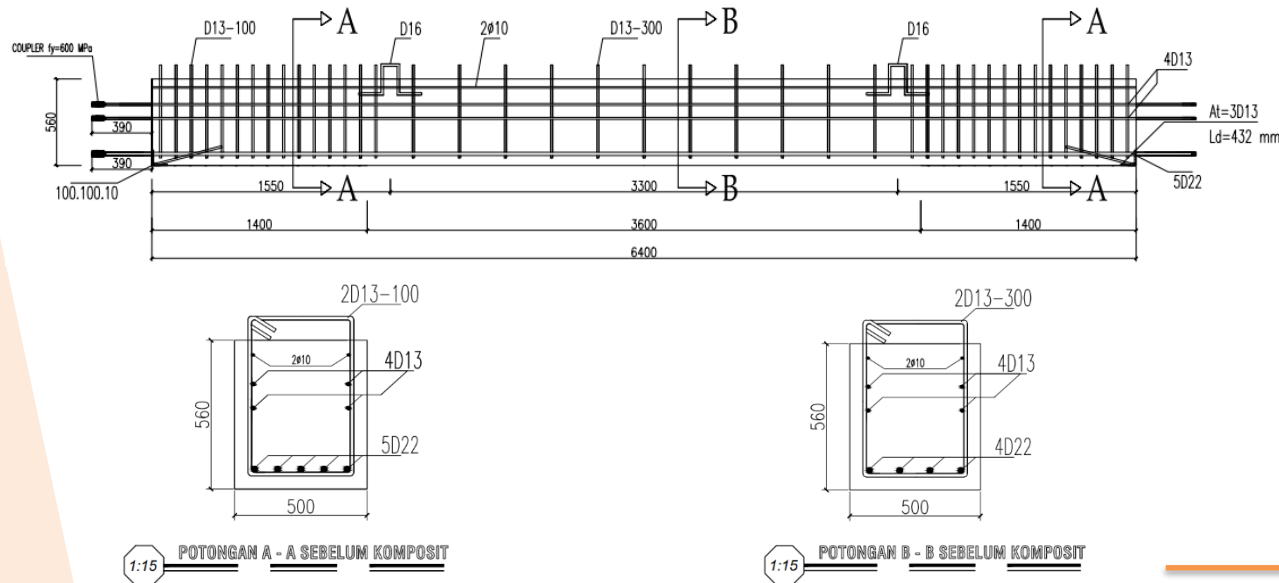
DENAH PEMASANGAN BALOK PRACETAK

(Proyek Gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya)



DENAH PEMASANGAN BALOK PRACETAK

(Proyek Gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya)



TABEL SPESIFIKASI BALOK INDUK PRACETAK

Tipe Balok	Tebal Selimut mm	Tinggi Balok Induk		Dimensi Balok Induk				Berat Pracetak kg	Jumlah	Tulangan Tumpuan		Tulangan Lapangan		Sengkang Tumpuan mm	Sengkang Lapangan	Tulangan Angkat mm
		Pracetak	Toping	Ln	b	h1	h2			Atas	Bawah	Atas	Bawah			
		mm	mm	mm	mm	mm	mm			mm	mm	mm	mm			
B1	50	560	140	7200	500	560	700	4230	144	8D22	5D22	2D22	4D22	2D13-100	2D13-300	2D16
B2	50	560	140	4800	500	560	700	2640	64	6D22	4D22	2D22	4D22	2D13-100	2D13-300	2D16
B3	50	560	140	3600	500	560	700	1850	96	6D22	5D22	2D22	4D22	2D13-100	2D13-200	2D16
B4	50	560	140	5125	500	560	700	2860	24	6D22	4D22	2D22	4D22	2D13-100	2D13-300	2D16
B5	50	560	140	2075	500	560	700	840	8	4D22	4D22	2D22	4D22	2D13-100	2D13-250	2D16

Note:

Mutu Beton (f_c') = 35 MPa

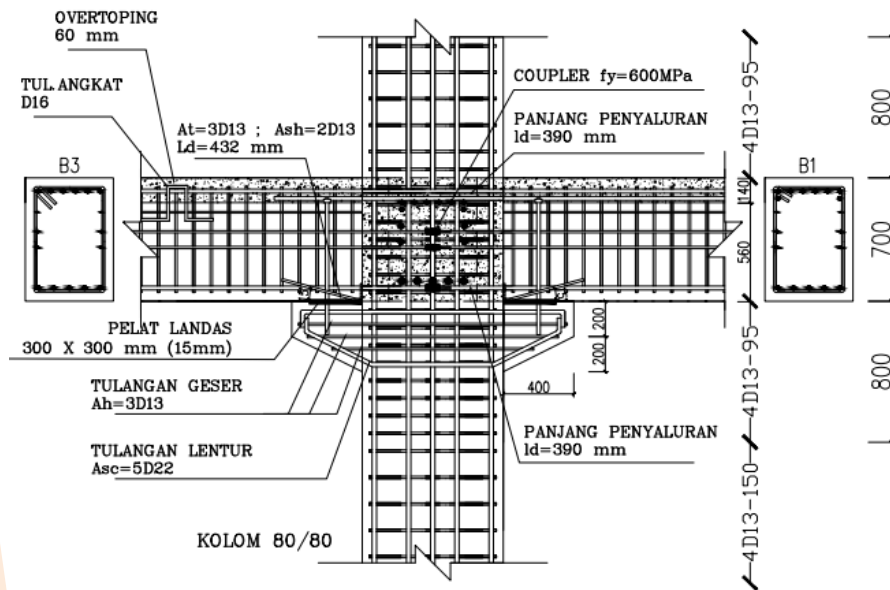
Mutu Baja (f_y) = 400 MPa

h1 = Tinggi Balok Sebelum Komposit

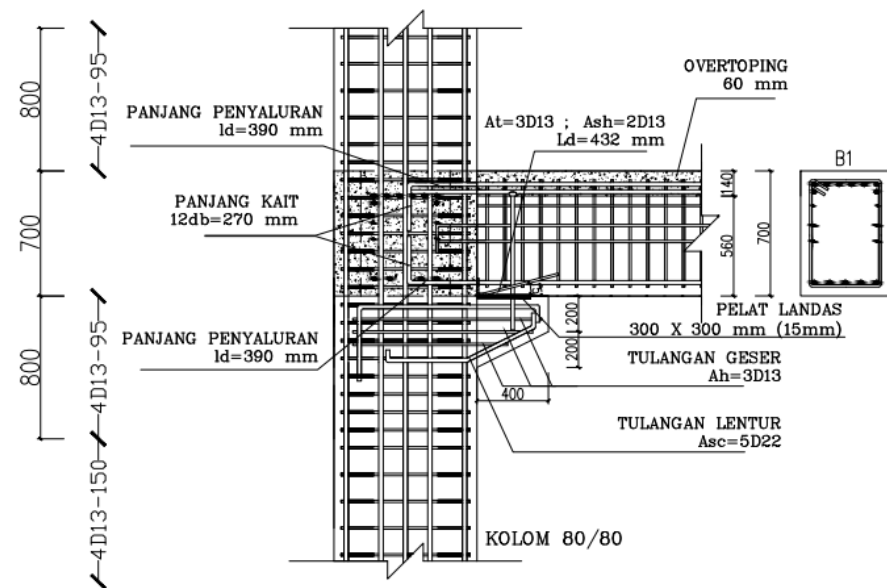
h2 = Tinggi Balok Setelah Komposit

SAMBUNGAN PRACETAK

(Proyek Gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya)

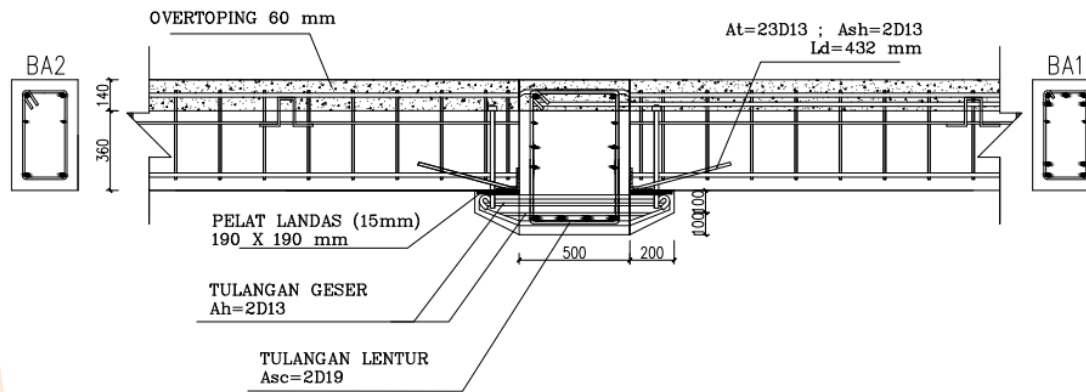


**SAMBUNGAN KOLOM - BALOK
INTERIOR**

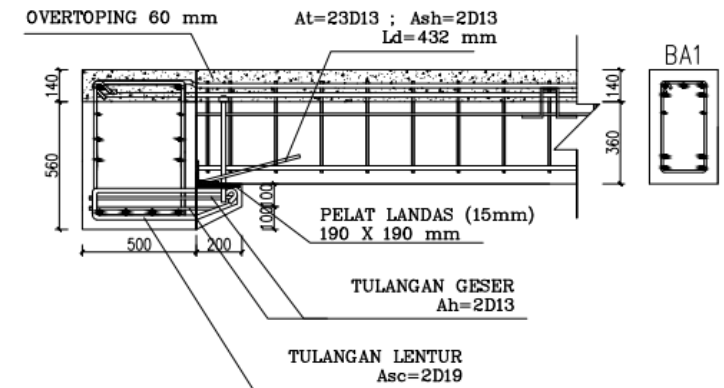


**SAMBUNGAN KOLOM - BALOK
EKSTERIOR**

(Proyek Gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya)



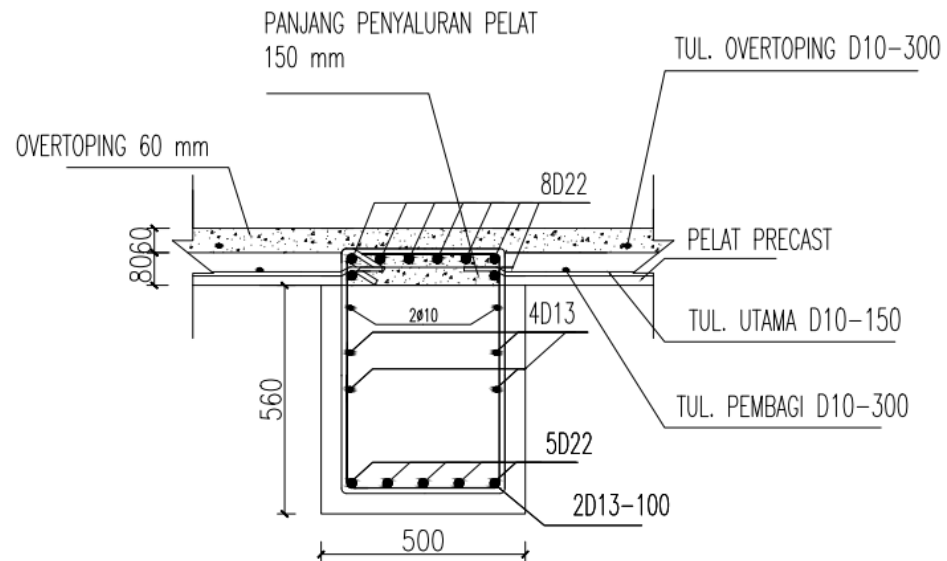
SAMBUNGAN BALOK INDUK - BALOK ANAK INTERIOR



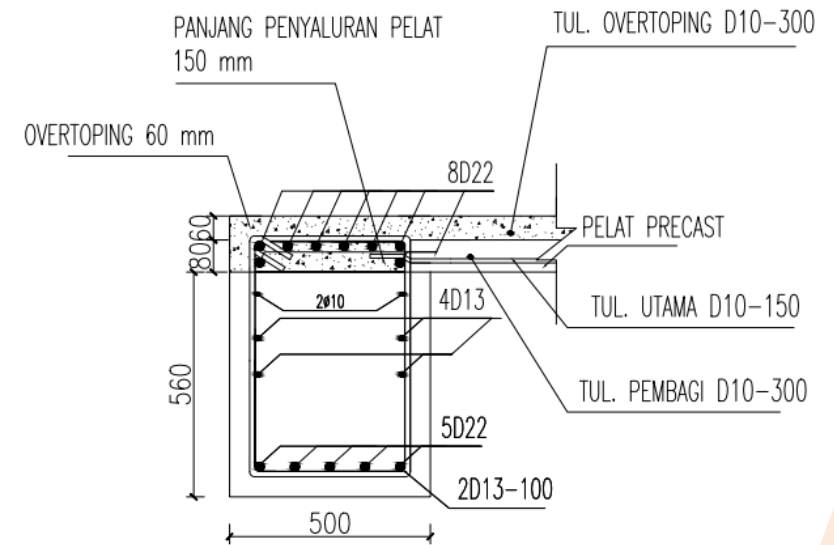
SAMBUNGAN BALOK INDUK - BALOK ANAK EKSTERIOR

SAMBUNGAN PRACETAK

(Proyek Gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya)



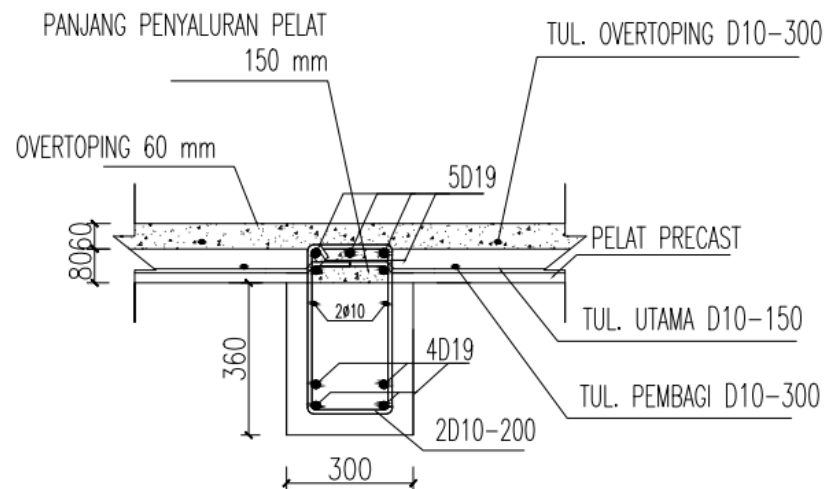
SAMBUNGAN BALOK INDUK - PELAT
INTERIOR



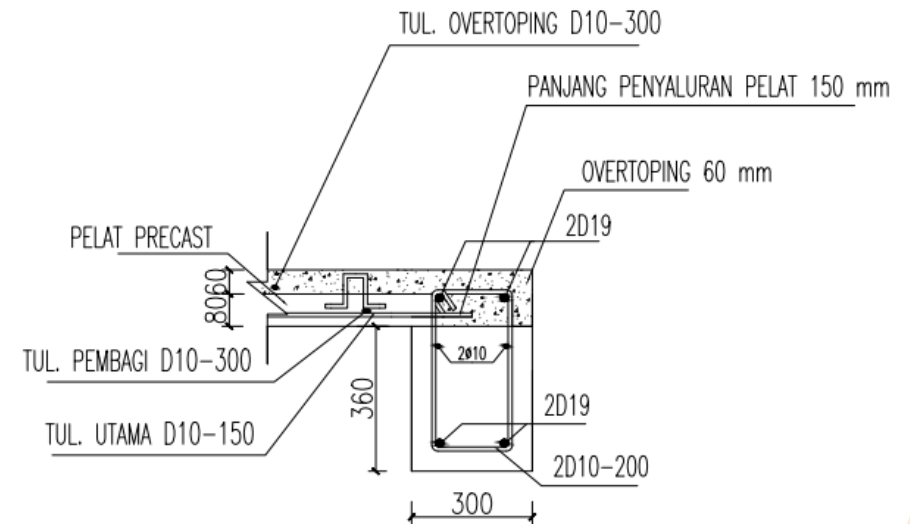
SAMBUNGAN BALOK INDUK - PELAT
EKSTERIOR

SAMBUNGAN PRACETAK

(Proyek Gedung G Universitas Muhammadiyah Surabaya)



**SAMBUNGAN BALOK ANAK - PELAT
INTERIOR**



**SAMBUNGAN BALOK ANAK - PELAT
EKSTERIOR**

LAMPIRAN GAMBAR TEKNIK PROYEK AKHIR TERAPAN - RC14-6599

MODIFIKASI PERENCANAAN GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA SURABAYA DENGAN METODE BETON PRACETAK (PRECAST)

M. SYAIFUDDIN ZUHRI

NRP. 10111410000088

Dosen Pembimbing:

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.EngSc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2018



LAMPIRAN GAMBAR TEKNIK PROYEK AKHIR TERAPAN - RC14-6599

MODIFIKASI PERENCANAAN GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA SURABAYA DENGAN METODE BETON PRACETAK (PRECAST)

M. SYAIFUDDIN ZUHRI

NRP. 10111410000088

Dosen Pembimbing:

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.EngSc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2018



TECHNIQUE DRAWING APPENDIX OF FINAL PROJECT APPLIED - RC14-6599

PLANNING MODIFICATION OF LECTURE BUILDING IN SURABAYA CITY USING PRECAST METHOD

M. SYAIFUDDIN ZUHRI

NRP. 10111410000088

Advisor:

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.EngSc., Ph.D.

DEPARTEMENT OF CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING

Faculty of Vocation

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2018

MODIFIKASI PERENCANAAN GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA SURABAYA DENGAN METODE BETON PRACETAK (*PRECAST*)



M. SYAIFUDDIN ZUHRI
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. SIGIT DARMAWAN, M.EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
PROGRAM STUDI D-IV REGULER

KODE GAMBAR	NAMA GAMBAR	SKALA	NOMOR GAMBAR
	LAYOUT PLAN	-	-
	DAFTAR GAMBAR	-	-
	DAFTAR GAMBAR	-	-
	DAFTAR GAMBAR	-	-
LAYOUT & TAMPAK			
ARS	LAYOUT PLAN	1 : 600	01
ARS	TAMPAK TENGGARA	1 : 200	02
ARS	TAMPAK BARAT LAUT	1 : 200	03
ARS	TAMPAK BARAT DAYA	1 : 200	04
ARS	TAMPAK TIMUR LAUT	1 : 200	05
DENAH LANTAI			
ARS	DENAH LANTAI 1	1 : 150	06
ARS	DENAH LANTAI 2	1 : 150	07
ARS	DENAH LANTAI 3	1 : 150	08
ARS	DENAH LANTAI 4 - 8	1 : 150	09
ARS	DENAH LANTAI ATAP	1 : 150	10
POTONGAN			
ARS	POTONGAN A - A	1 : 200	11
ARS	POTONGAN B - B	1 : 200	12
DENAH BALOK DAN KOLOM			
STR	DENAH KOLOM	1 : 150	13
STR	DENAH PEMASANGAN BALOK PRECAST LANTAI 2-8	1 : 150	14
STR	DENAH PEMASANGAN BALOK PRECAST LANTAI ATAP	1 : 150	15
STR	DENAH PEMASANGAN PELAT PRECAST LANTAI 2-8	1 : 150	16
STR	DENAH PEMASANGAN PELAT PRECAST LANTAI ATAP	1 : 150	17

KODE GAMBAR	NAMA GAMBAR	SKALA	NOMOR GAMBAR
PELAT PRACETAK			
STR	PENULANGAN PELAT TIPE A1	1 : 30	18
STR	PENULANGAN PELAT TIPE A2	1 : 30	19
STR	PENULANGAN PELAT TIPE A3	1 : 30	20
STR	PENULANGAN PELAT TIPE B1	1 : 30	21
STR	PENULANGAN PELAT TIPE B2	1 : 30	22
STR	PENULANGAN PELAT TIPE C1	1 : 30	23
STR	PENULANGAN PELAT TIPE C2	1 : 30	24
STR	PENULANGAN PELAT TIPE D1	1 : 30	25
STR	PENULANGAN PELAT TIPE D2	1 : 30	26
STR	PENULANGAN PELAT TIPE E1	1 : 30	27
STR	PENULANGAN PELAT TIPE F1	1 : 30	28
STR	PENULANGAN PELAT TIPE G1	1 : 30	29
STR	PENULANGAN PELAT TIPE G2	1 : 30	30
STR	PENULANGAN PELAT SETELAH KOMPOSIT LT. 2-8	1 : 150	31
STR	PENULANGAN PELAT SETELAH KOMPOSIT LT. ATAP	1 : 150	32
STR	DETAIL PENULANGAN PELAT TIPE A SETELAH KOMPOSIT	1 : 50	33
STR	DETAIL PENULANGAN PELAT TIPE B SETELAH KOMPOSIT	1 : 50	34
STR	DETAIL PENULANGAN PELAT TIPE C SETELAH KOMPOSIT	1 : 25	35
STR	DETAIL PENULANGAN PELAT TIPE D SETELAH KOMPOSIT	1 : 25	36
STR	DETAIL PENULANGAN PELAT TIPE E SETELAH KOMPOSIT	1 : 50	37
STR	DETAIL PENULANGAN PELAT TIPE F SETELAH KOMPOSIT	1 : 50	38
STR	DETAIL PENULANGAN PELAT TIPE G SETELAH KOMPOSIT	1 : 50	39

KODE GAMBAR	NAMA GAMBAR	SKALA	NOMOR GAMBAR
BALOK ANAK PRACETAK			
STR	DETAIL PENULANGAN BALOK ANAK TIPE BA1	1 : 25	40
STR	DETAIL POTONGAN PENULANGAN BALOK ANAK TIPE BA1	1 : 15	41
STR	DETAIL PENULANGAN BALOK ANAK TIPE BA2	1 : 25	42
STR	DETAIL POTONGAN PENULANGAN BALOK ANAK TIPE BA2	1 : 15	43
STR	DETAIL PENULANGAN BALOK ANAK TIPE BA3	1 : 25	44
STR	DETAIL POTONGAN PENULANGAN BALOK ANAK TIPE BA3	1 : 15	45
STR	DETAIL PENULANGAN BALOK ANAK TIPE BA4	1 : 25	46
STR	DETAIL POTONGAN PENULANGAN BALOK ANAK TIPE BA4	1 : 15	47
STR	DETAIL PENULANGAN BALOK ANAK TIPE BA5	1 : 20	48
STR	DETAIL POTONGAN PENULANGAN BALOK ANAK TIPE BA5	1 : 15	49
BALOK INDUK PRACETAK			
STR	DETAIL PENULANGAN BALOK INDUK TIPE B1	1 : 25	50
STR	DETAIL POTONGAN PENULANGAN BALOK INDUK TIPE B1	1 : 15	51
STR	DETAIL PENULANGAN BALOK INDUK TIPE B2	1 : 25	52
STR	DETAIL POTONGAN PENULANGAN BALOK INDUK TIPE B2	1 : 15	53
STR	DETAIL PENULANGAN BALOK INDUK TIPE B3	1 : 20	54
STR	DETAIL POTONGAN PENULANGAN BALOK INDUK TIPE B3	1 : 15	55
STR	DETAIL PENULANGAN BALOK INDUK TIPE B4	1 : 25	56
STR	DETAIL POTONGAN PENULANGAN BALOK INDUK TIPE B4	1 : 15	57
STR	DETAIL PENULANGAN BALOK INDUK TIPE B5	1 : 20	58
STR	DETAIL POTONGAN PENULANGAN BALOK INDUK TIPE B5	1 : 25	59
BALOK LIFT & BALOK BORDES			
STR	DETAIL PENULANGAN BALOK PENUMPU LIFT	1 : 20	60
STR	DETAIL PENULANGAN BALOK PENGGANTUNG LIFT	1 : 15	61
STR	DETAIL PENULANGAN BALOK BORDES	1 : 15	62
TABEL REKAPITULASI PENULANGAN BALOK & KOLOM			
STR	TABEL REKAPITULASI PENULANGAN BALOK INDUK	1 : 15	63
STR	TABEL REKAPITULASI PENULANGAN BALOK ANAK	1 : 15	64
STR	TABEL REKAPITULASI PENULANGAN KOLOM	1 : 15	65
STR	TABEL REKAPITULASI PENULANGAN BLK LIFT, BORDES	1 : 15	66

KODE GAMBAR	NAMA GAMBAR	SKALA	NOMOR GAMBAR
KOLOM			
STR	DETAIL PENULANGAN KOLOM INTERIOR TIPE K1	1 : 25	67
STR	DETAIL PENULANGAN KOLOM EKSTERIOR TIPE K1	1 : 25	68
PORTAL			
STR	PORTAL MELINTANG	1 : 175	69
STR	PORTAL MEMANJANG	1 : 175	70
TANGGA			
STR	DETAIL PENULANGAN TANGGA	1 : 40	71
SAMBUNGAN			
STR	SAMBUNGAN KOLOM-BALOK INDUK INTERIOR	1 : 15	72
STR	SAMBUNGAN KOLOM-BALOK INDUK EKSTERIOR	1 : 15	73
STR	SAMBUNGAN BALOK INDUK-BALOK ANAK INTERIOR	1 : 15	74
STR	SAMBUNGAN BALOK INDUK-BALOK ANAK EKSTERIOR	1 : 15	75
STR	SAMBUNGAN BALOK INDUK-PELAT INTERIOR	1 : 10	76
STR	SAMBUNGAN BALOK INDUK-PELAT EKSTERIOR	1 : 10	77
STR	SAMBUNGAN BALOK ANAK-PELAT INTERIOR	1 : 10	78
STR	SAMBUNGAN BALOK ANAK-PELAT EKSTERIOR	1 : 10	79
PANJANG PENYALURAN & DETAIL COUPLER			
STR	DETAIL PANJANG PENYALURAN BLK INDUK INTERIOR	1 : 10	80
STR	DETAIL PANJANG PENYALURAN BLK INDUK EKSTERIOR	1 : 10	81
PENULANGAN KONSOL			
STR	DETAIL PENULANGAN KONSOL KOLOM	1 : 20	82
STR	DETAIL PENULANGAN KONSOL BALOK INDUK	1 : 15	83
HBK			
STR	PENULANGAN JOINT KOLOM DETAIL A	1 : 7,5	84
STR	PENULANGAN JOINT KOLOM DETAIL B	1 : 7,5	85
STR	PENULANGAN JOINT KOLOM DETAIL C	1 : 7,5	86

KODE GAMBAR	NAMA GAMBAR	SKALA	NOMOR GAMBAR
DETAIL PENULANGAN KONSOL			
STR	PENULANGAN KONSOL KOLOM DETAIL A	1 : 15	87
STR	PENULANGAN KONSOL KOLOM DETAIL B	1 : 15	88
STR	PENULANGAN KONSOL KOLOM DETAIL C	1 : 15	89
STR	PENULANGAN KONSOL BALOK INDUK DETAIL A	1 : 10	90
STR	PENULANGAN KONSOL BALOK INDUK DETAIL B	1 : 10	91
MAP TOWER CRANE			
ARS	MAP TOWER CRANE	1 : 250	92
ARS	MOBILISASI PROYEK	NTS	93



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (*PRECAST*)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 1011141000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

LAYOUT PLAN

1:600

KODE GBR

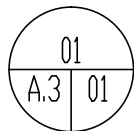
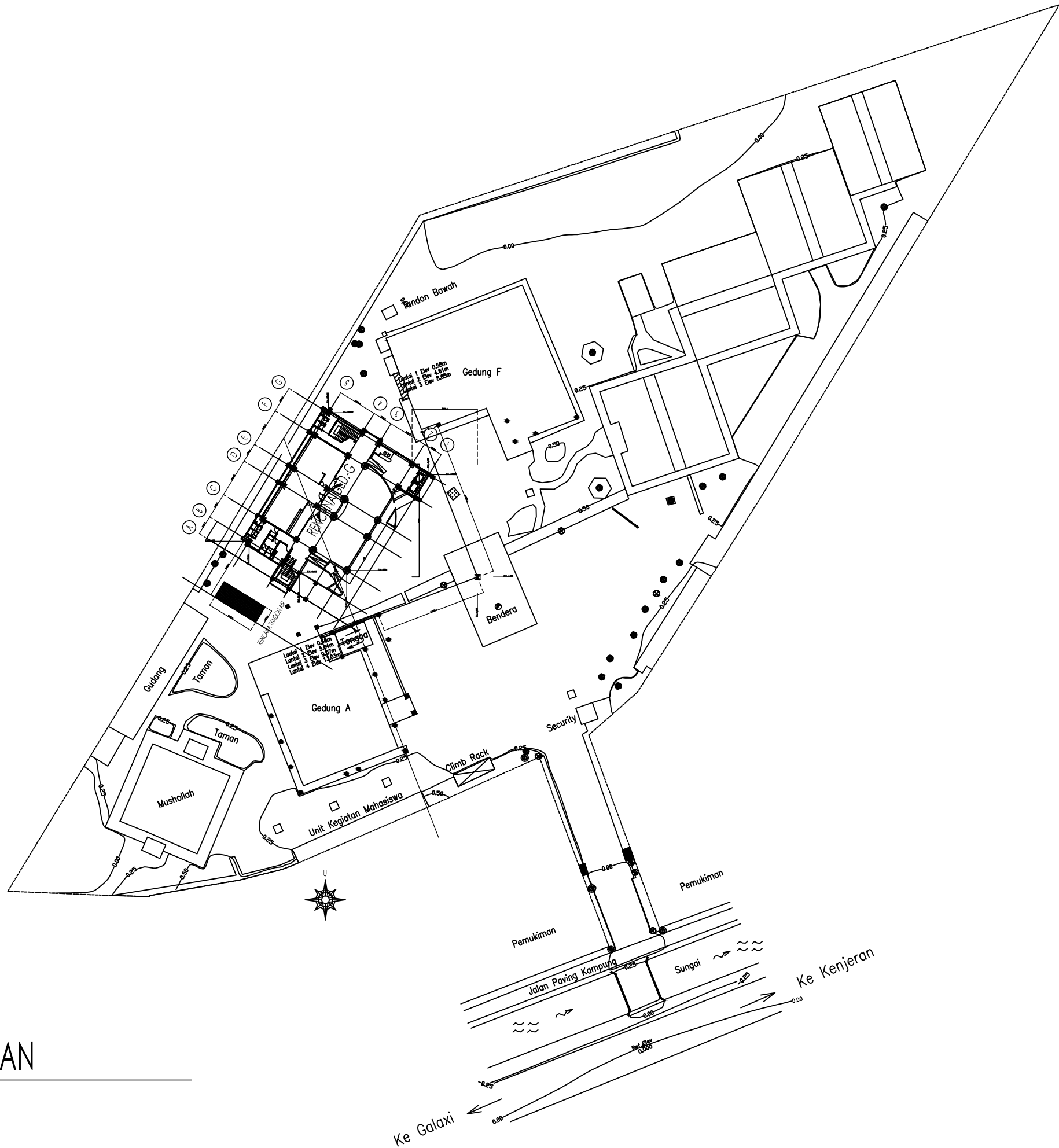
NO GBR

JML GBR

ARS

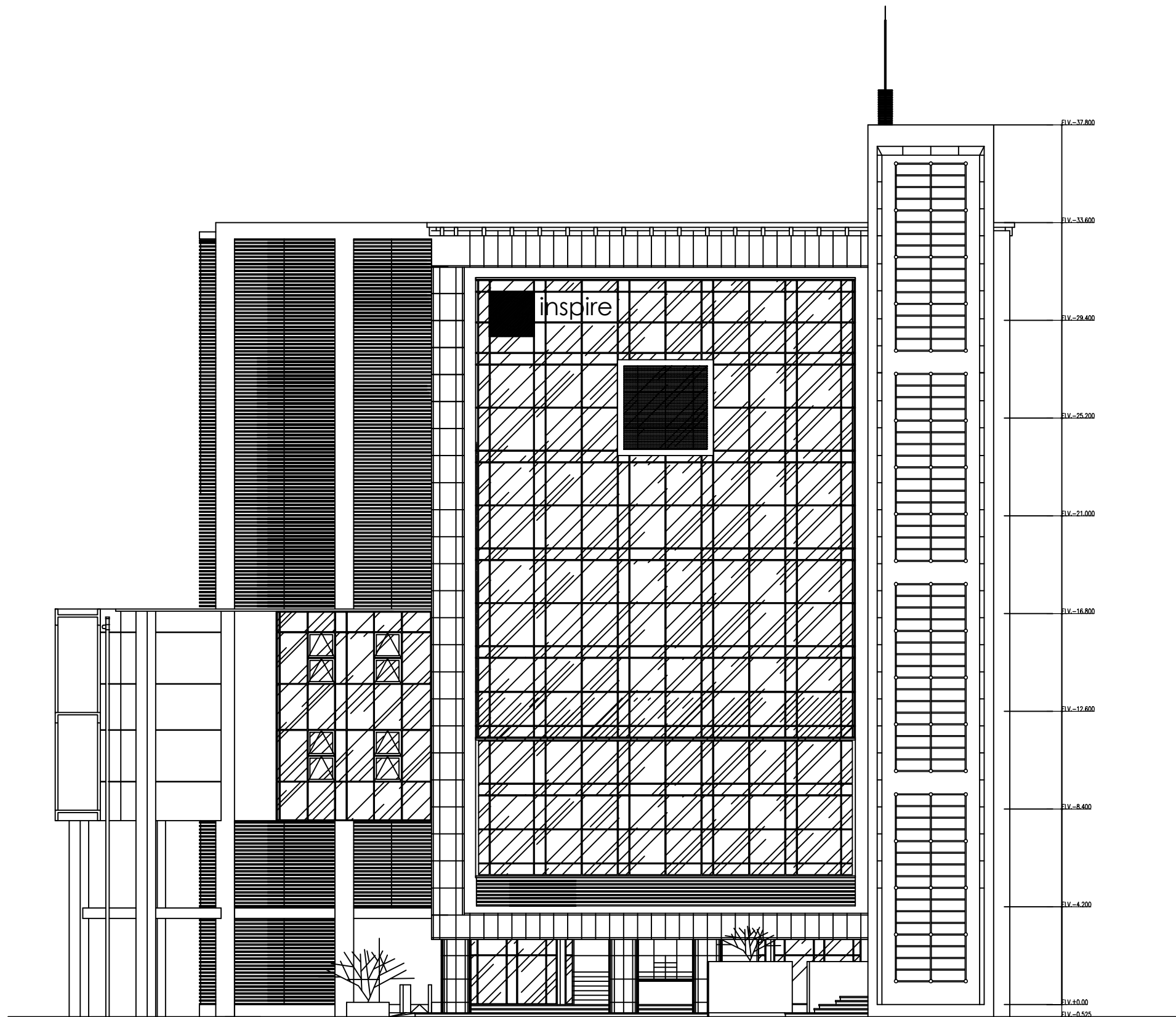
01

93



LAYOUT PLAN

1 : 600



01
A.3 | 02
TAMPAK TENGGARA
1 : 200



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (*PRECAST*)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

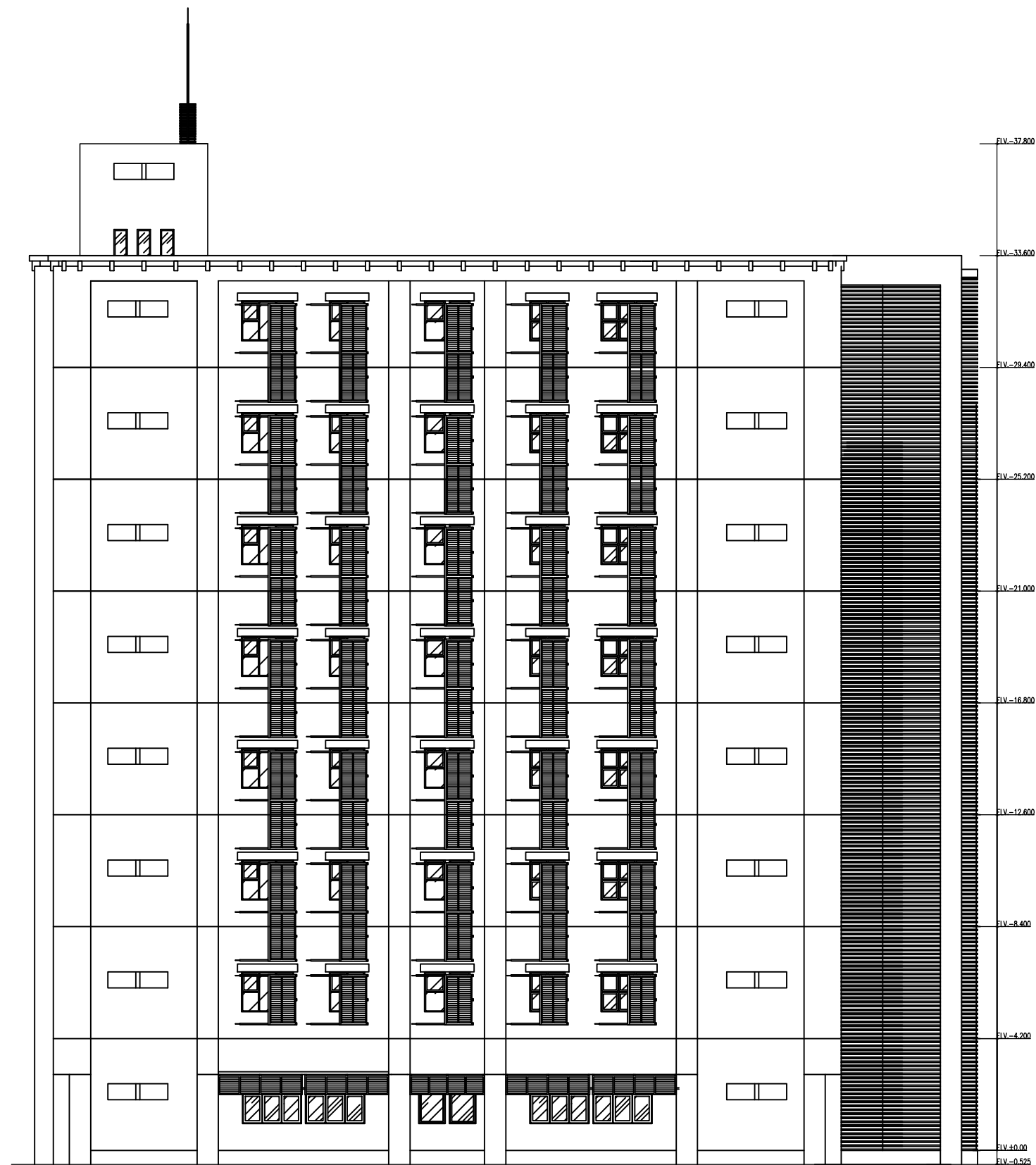
CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR	SKALA
TAMPAK TENGGARA	1:200

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
ARS	02	93



01
A.3 | 03
TAMPAK BARAT LAUT
1 : 200



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (*PRECAST*)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

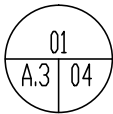
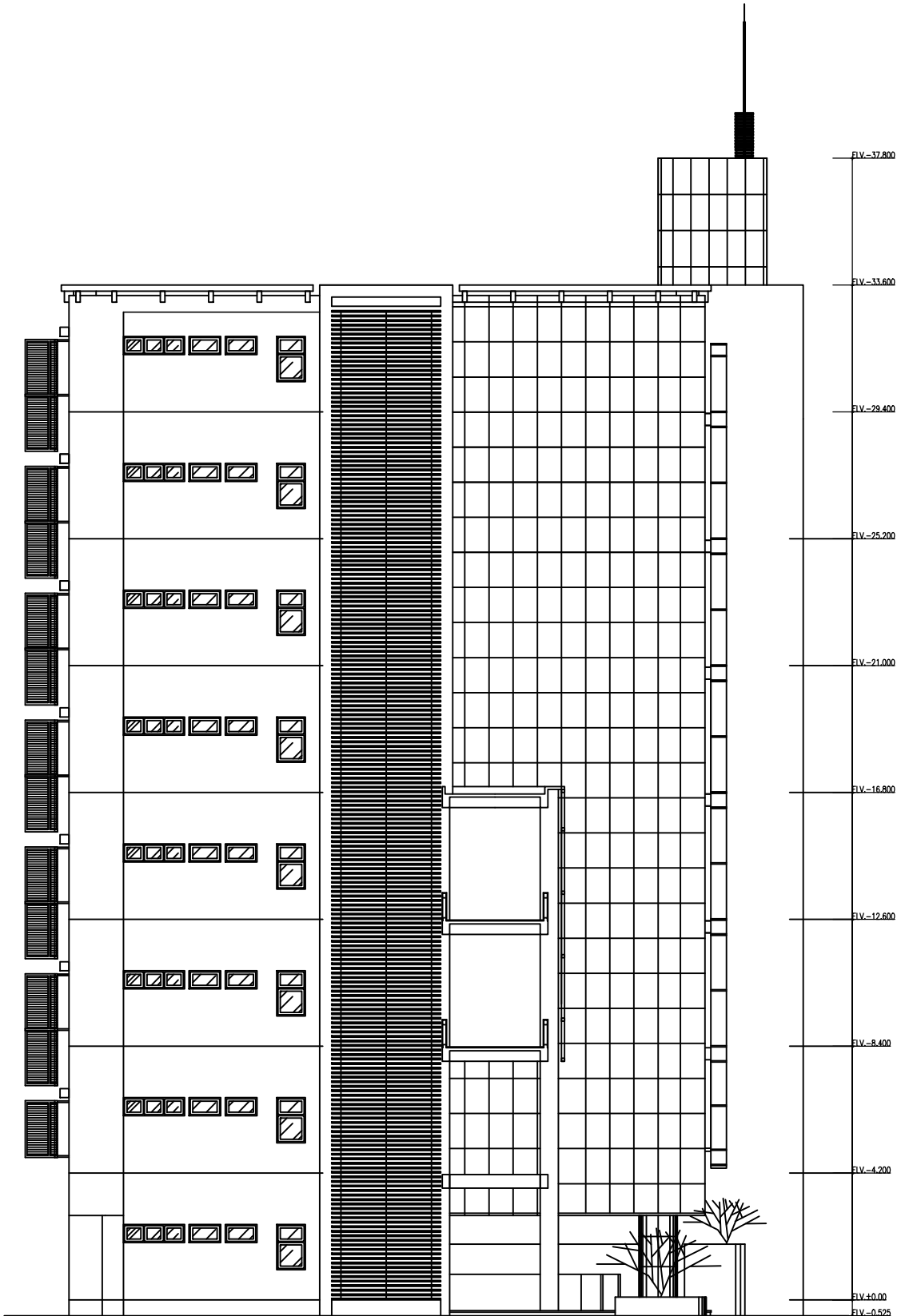
GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR		SKALA
TAMPAK BARAT LAUT		1:200
KODE GBR	NO GBR	JML GBR
ARS	03	93



TAMPAK BARAT DAYA
1 : 200



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (*PRECAST*)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

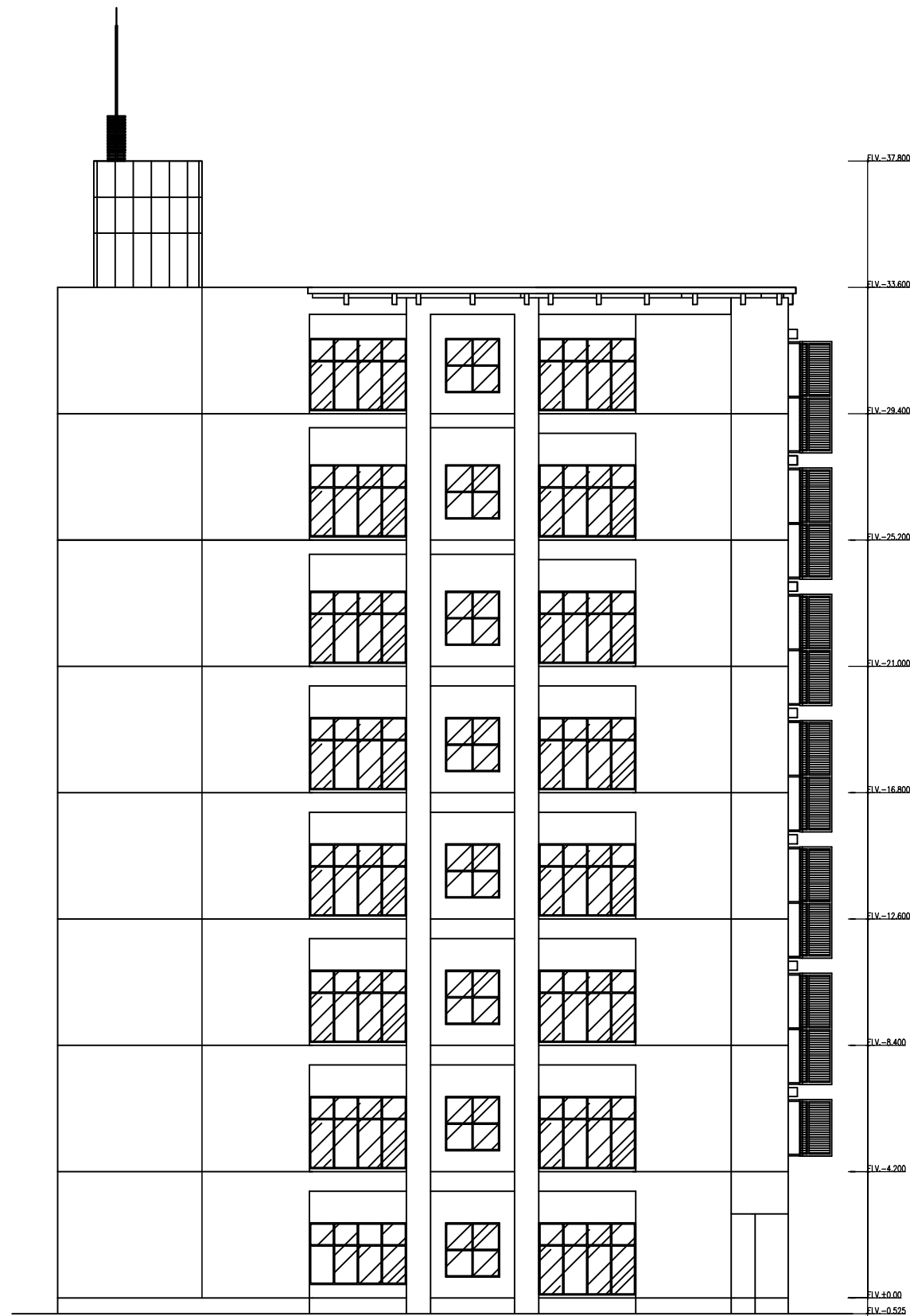
CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR	SKALA
TAMPAK BARAT DAYA	1:200

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
ARS	04	93



01
A.3 | 05

TAMPAK TIMUR LAUT

1 : 200



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (*PRECAST*)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR	SKALA
TAMPAK TIMUR LAUT	1:200

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
ARS	05	93



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 1011141000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

DENAH LANTAI 1

SKALA

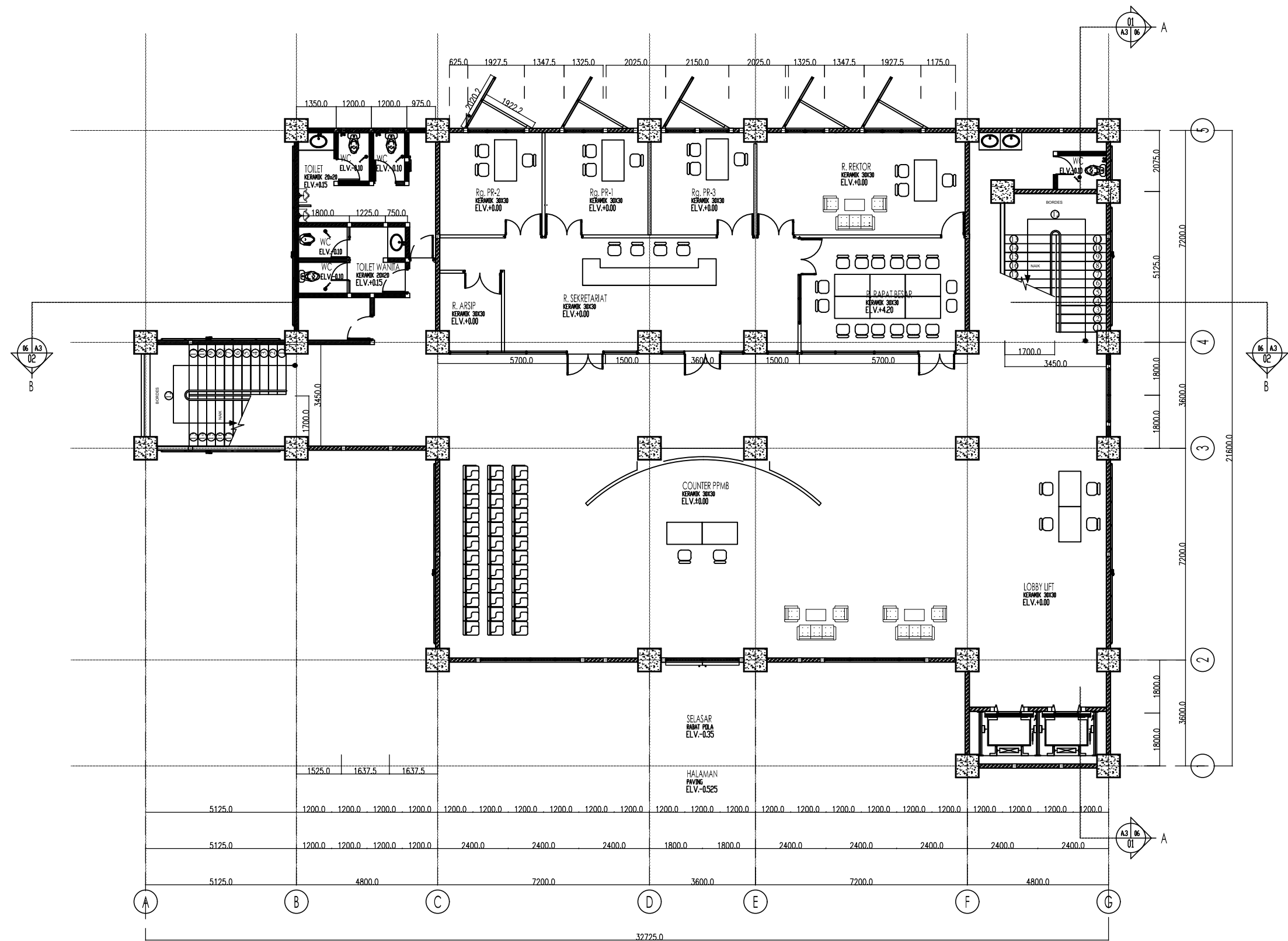
1:150

KODE GBR NO GBR JML GBR

ARS

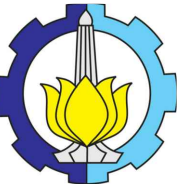
06

93



1:150

DENAH LANTAI 1



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 1011141000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

DENAH LANTAI 2

1:150

KODE GBR

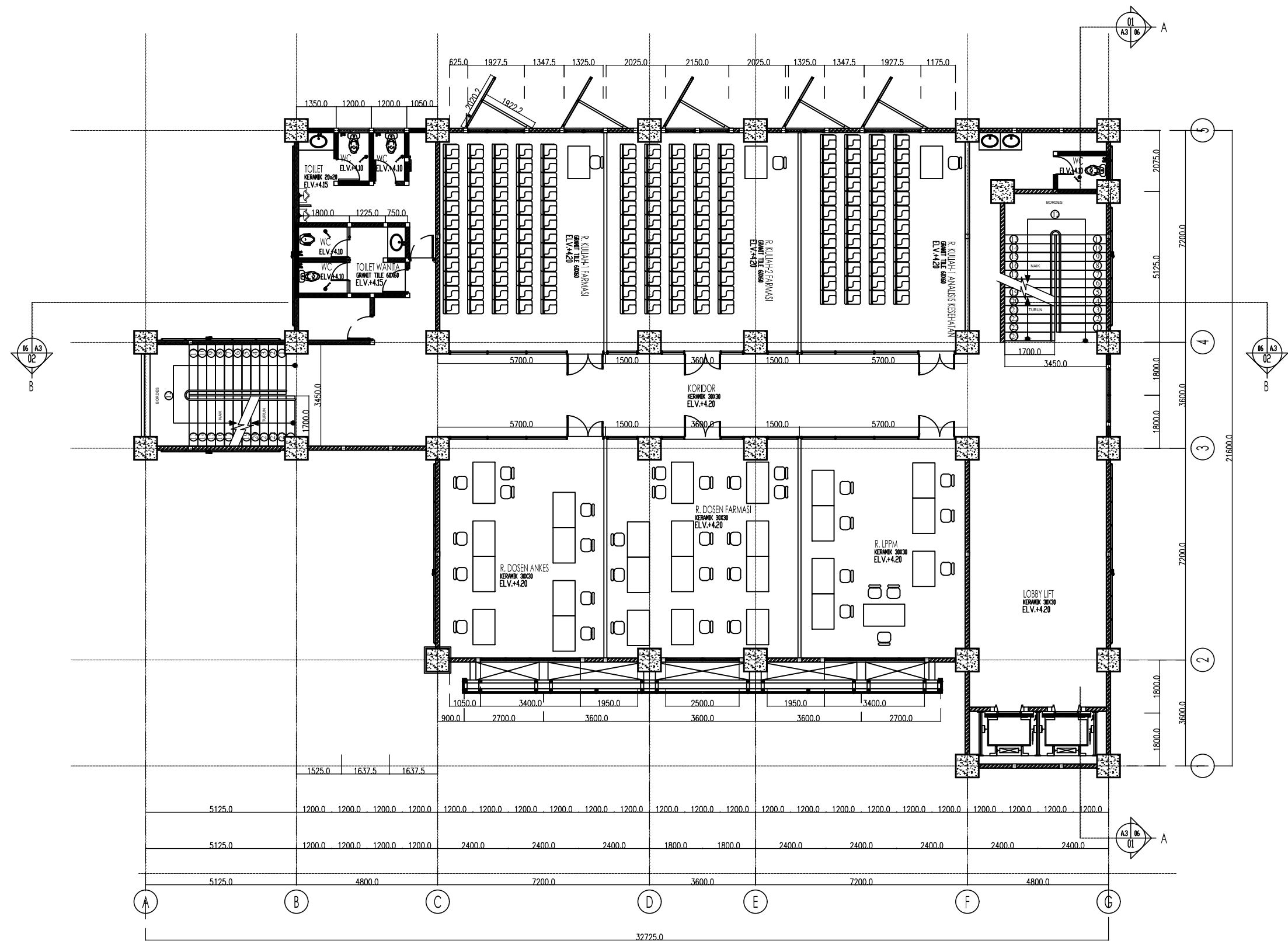
NO GBR

JML GBR

ARS

07

93



1:150 DENAH LANTAI 2



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

DENAH LANTAI 3

SKALA

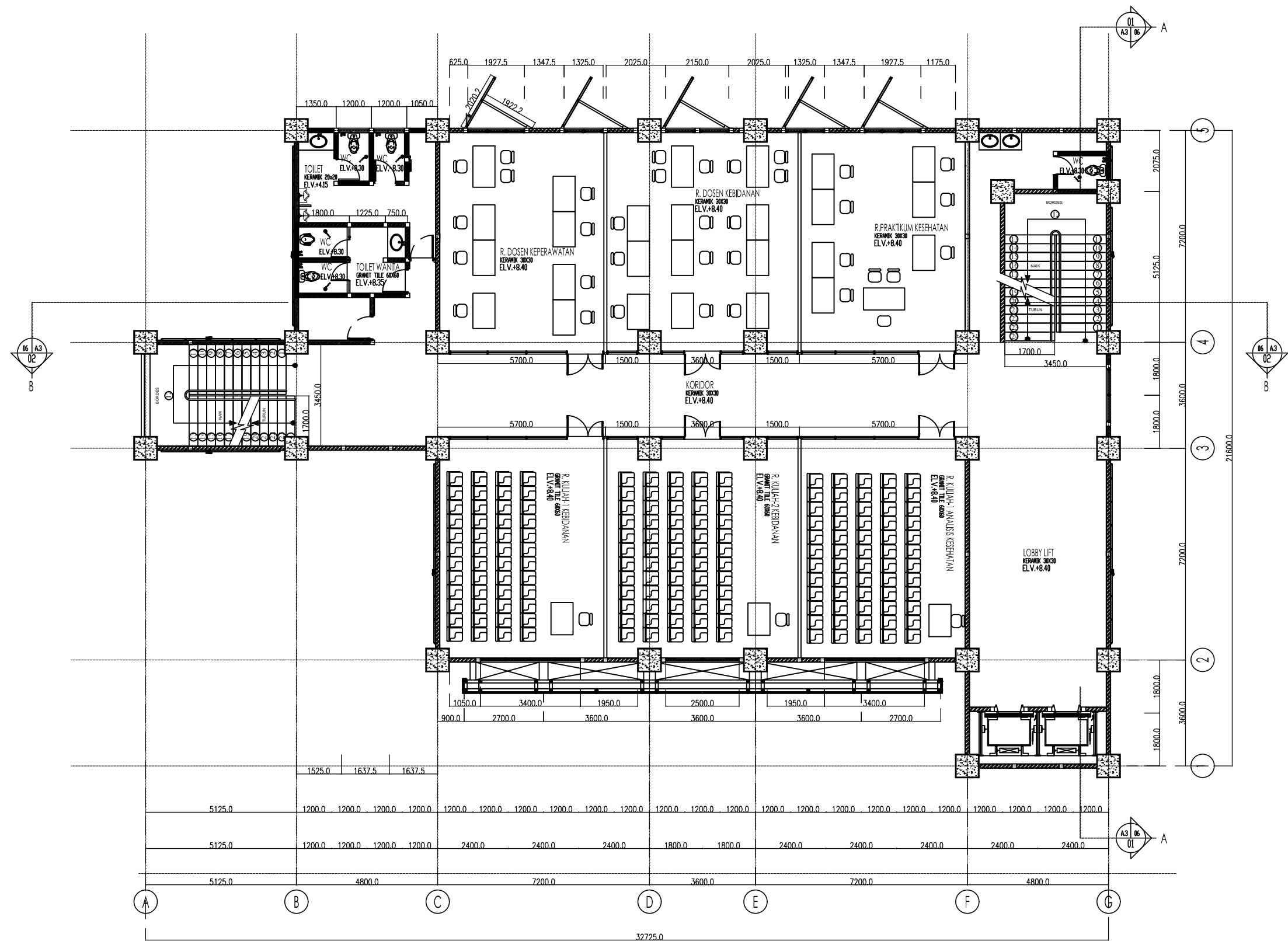
1:150

KODE GBR NO GBR JML GBR

ARS

08

93



1:150

DENAH LANTAI 3



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

DENAH
LANTAI 4 - LANTAI 8

SKALA

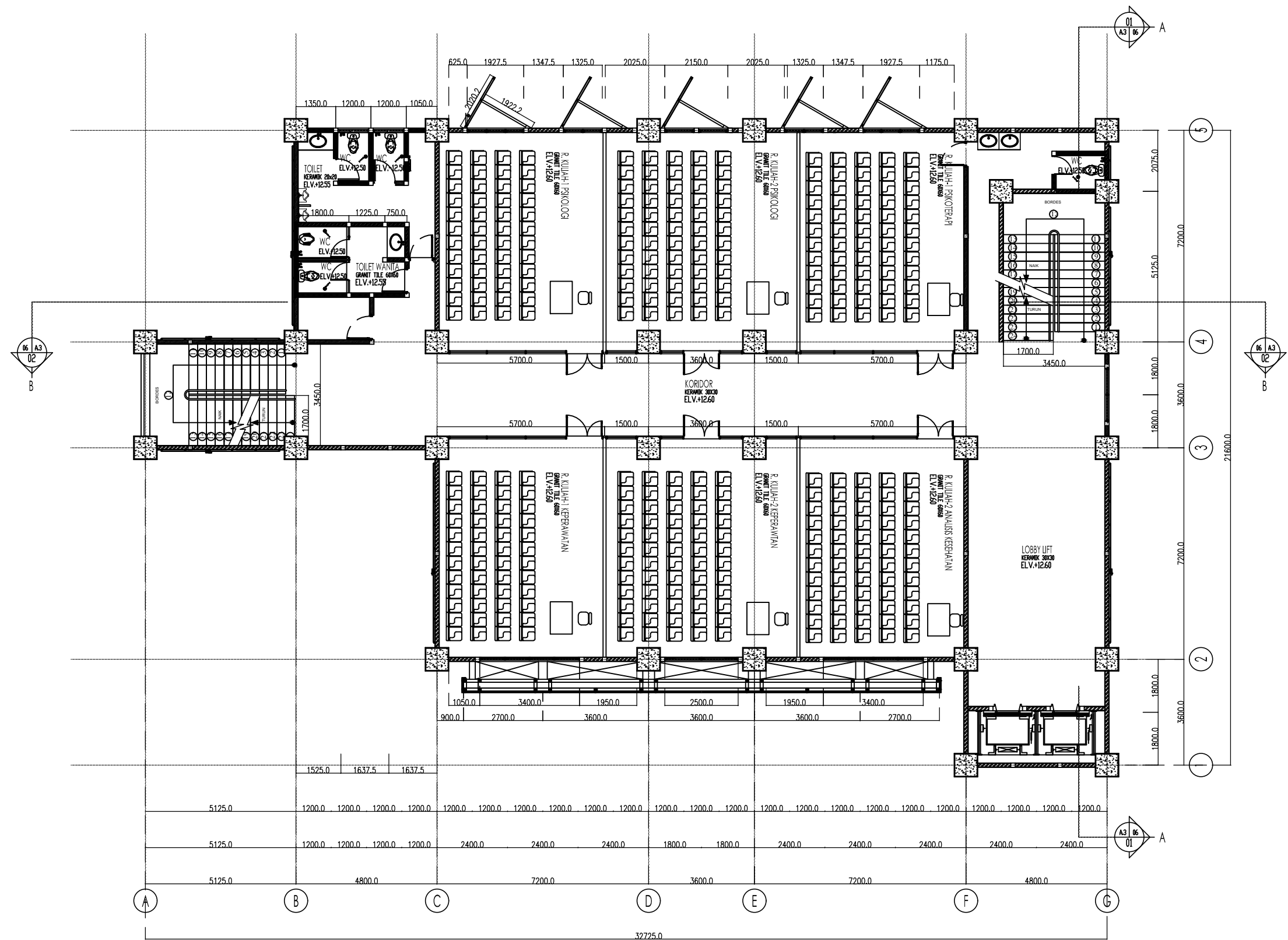
1:150

KODE GBR NO GBR JML GBR

ARS

09

93



1:150 DENAH LANTAI 4 - LANTAI 8



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (*PRECAST*)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

DENAH LANTAI ATAP

1:150

KODE GBR

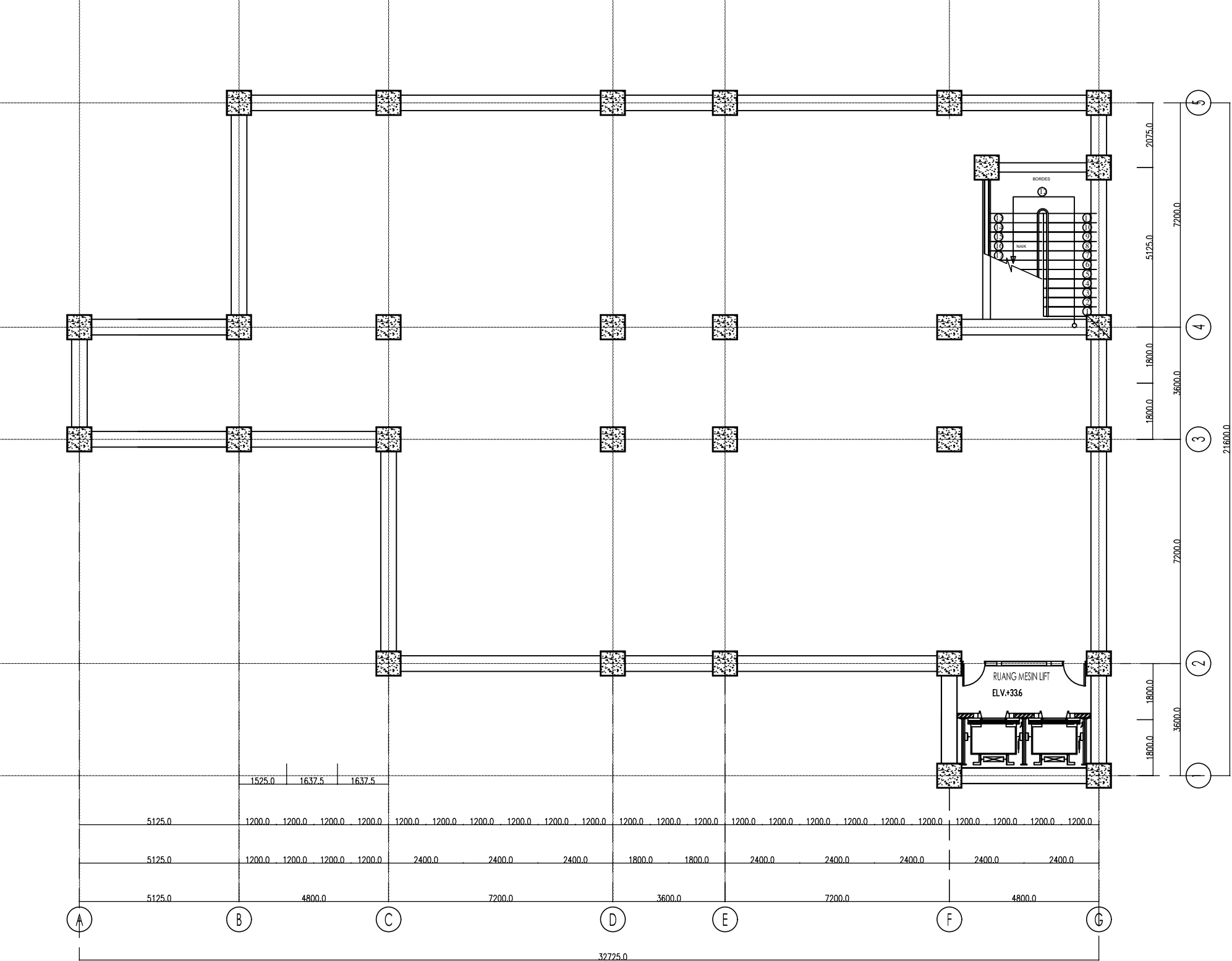
NO GBR

JML GBR

ARS

10

93



1:150 DENAH LANTAI ATAP



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 1011141000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

POTONGAN A - A

SKALA

1:200

KODE GBR

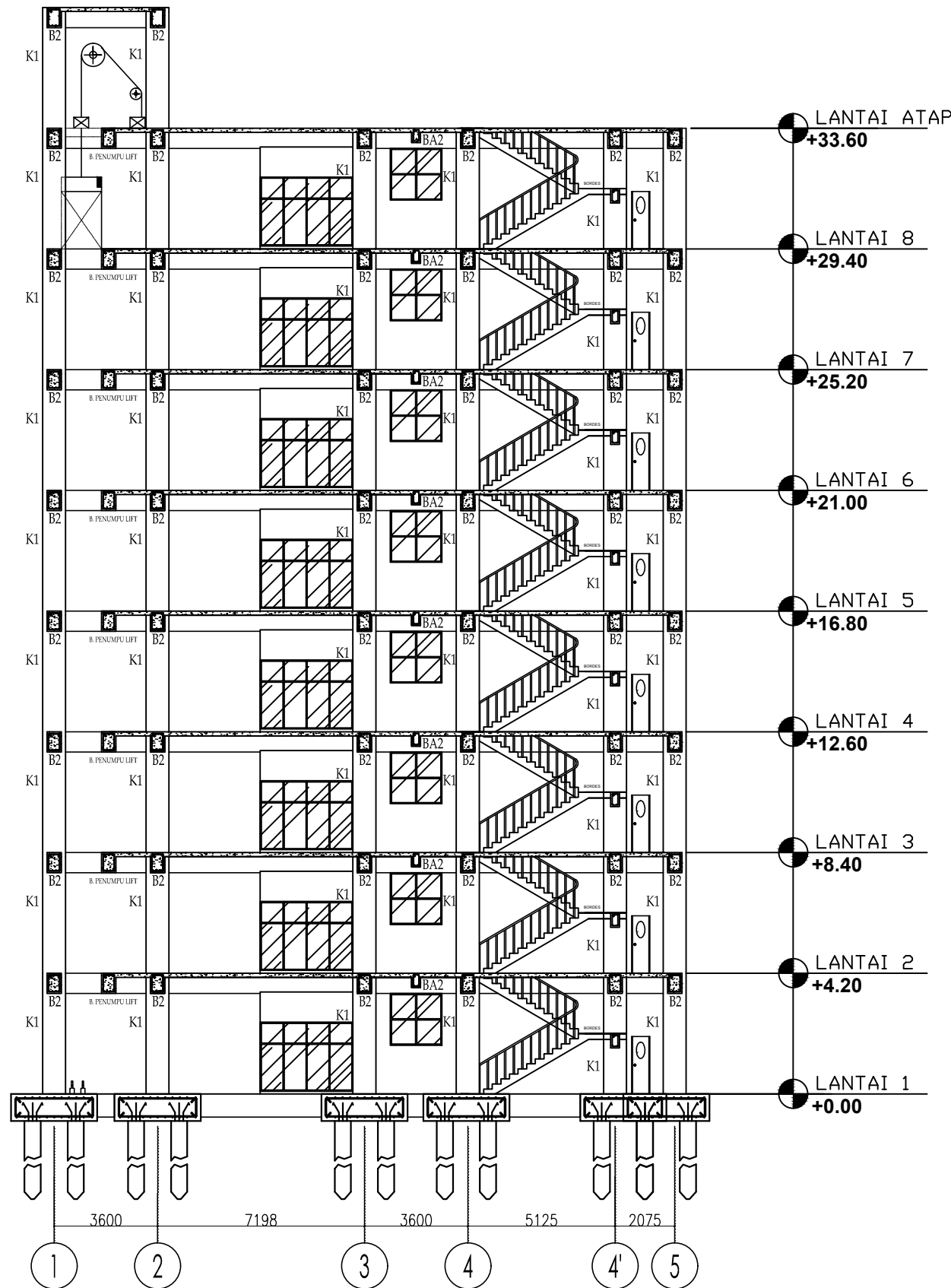
ARS

NO GBR

11

JML GBR

93



1:200 POTONGAN A - A



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

POTONGAN B - B

SKALA

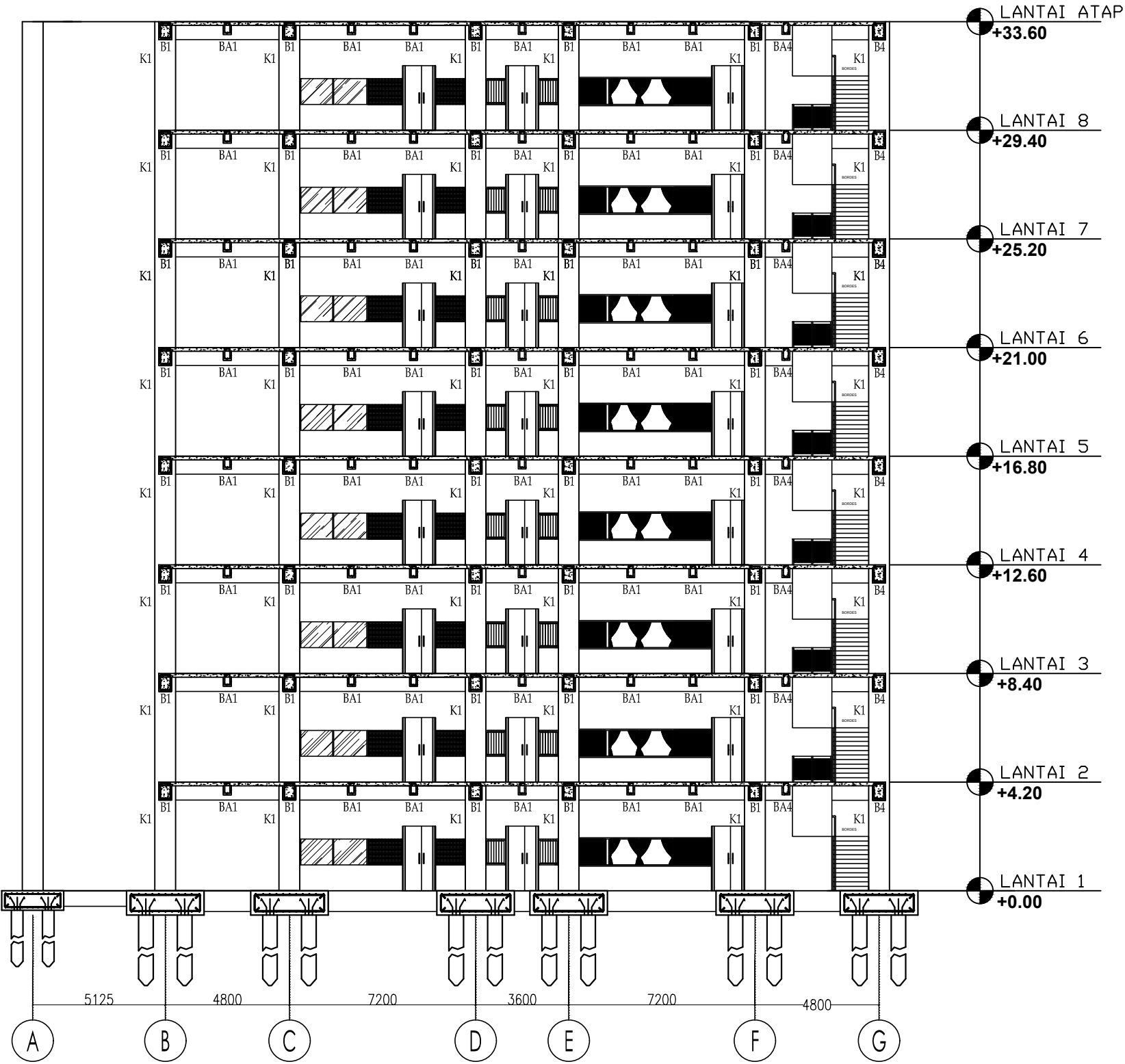
1:200

KODE GBR NO GBR JML GBR

ARS

12

93



1:200 POTONGAN B - B



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (*PRECAST*)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

DENAH KOLOM

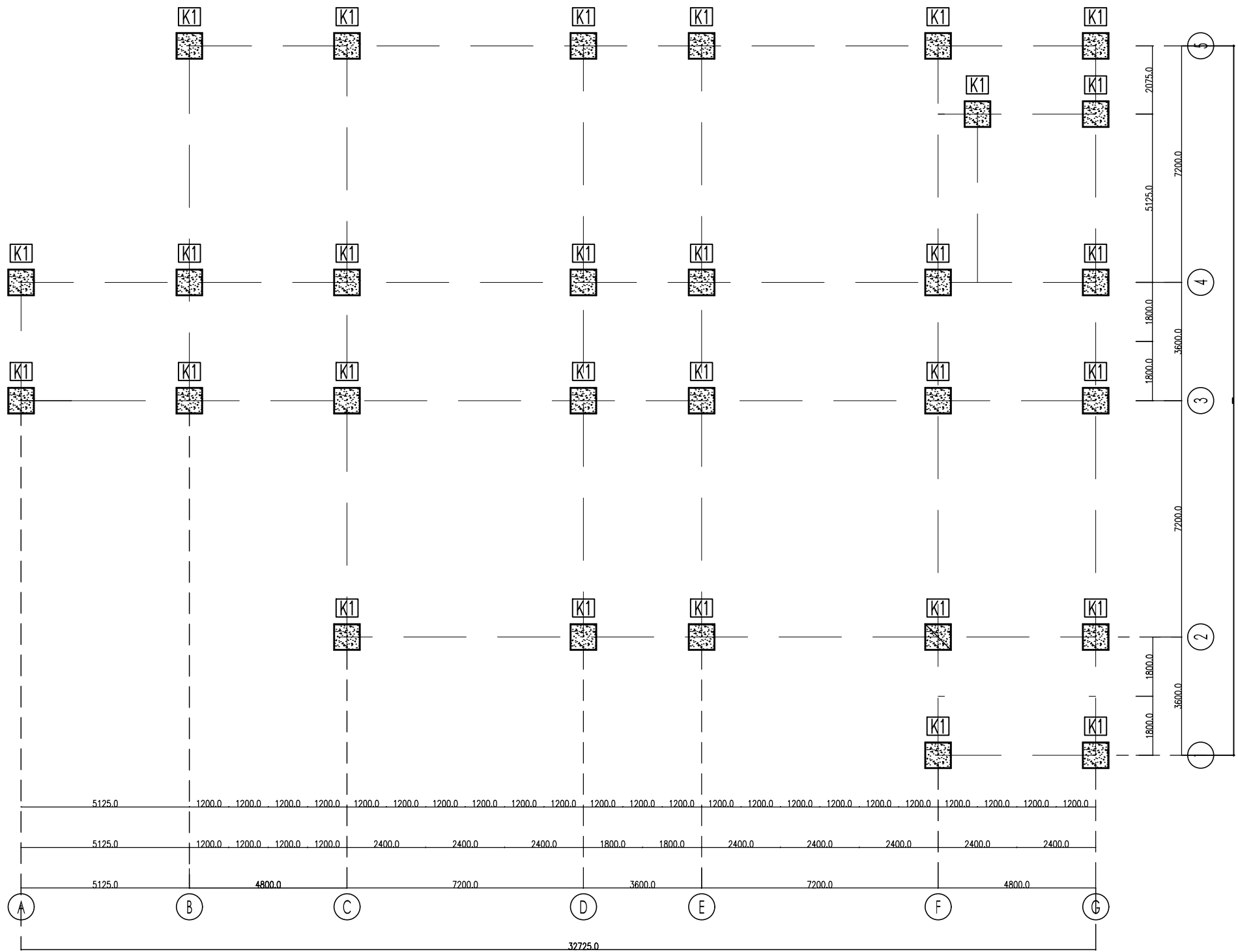
1:150

KODE GBR NO GBR JML GBR

STR

13

93



1:150 DENAH KOLOM



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

DENAH PEMASANGAN
BALOK PRECAST
LANTAI 2 - LANTAI 8

SKALA

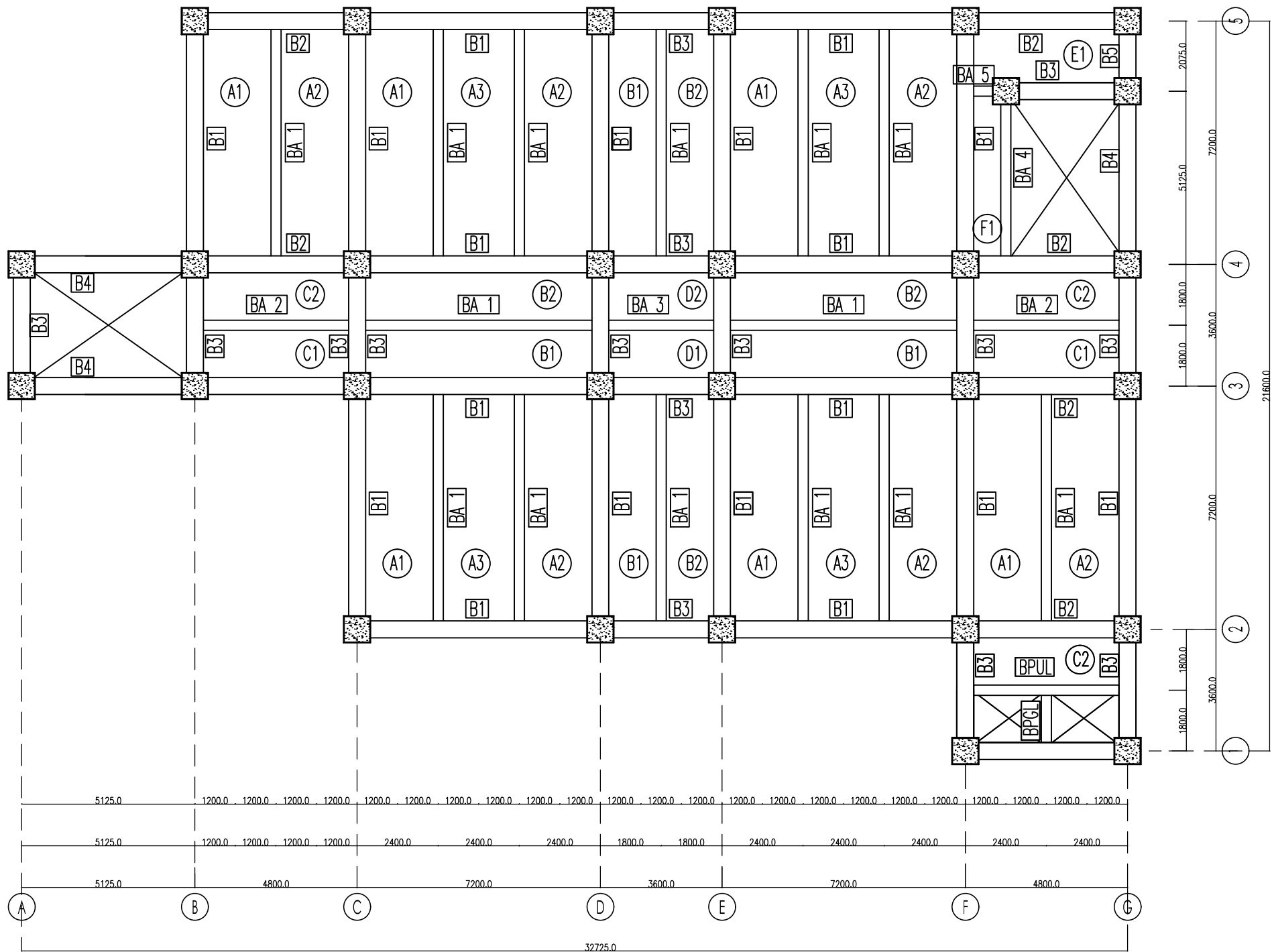
1:150

KODE GBR NO GBR JML GBR

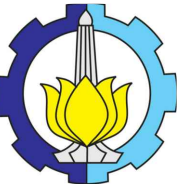
STR

14

93



1:150 DENAH PEMASANGAN BALOK PRECAST LANTAI 2 - 8



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

DENAH PEMASANGAN
BALOK PRECAST
LANTAI ATAP

SKALA

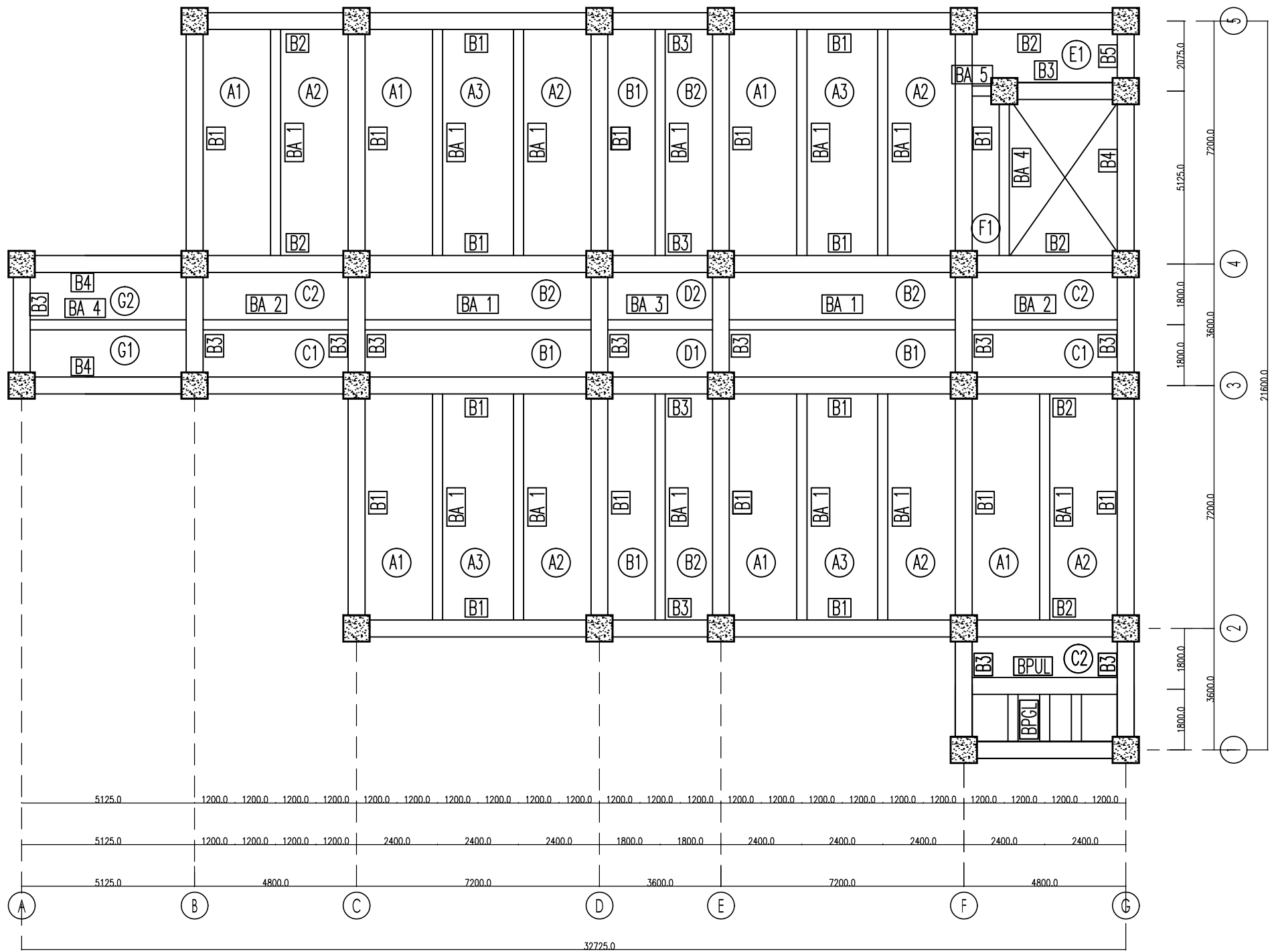
1:150

KODE GBR NO GBR JML GBR

STR

15

93



1:150 DENAH PEMASANGAN BALOK PRECAST LANTAI ATAP



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

DENAH PEMASANGAN
PELAT PRECAST
LANTAI 2 - LANTAI 8

SKALA

1:150

KODE GBR

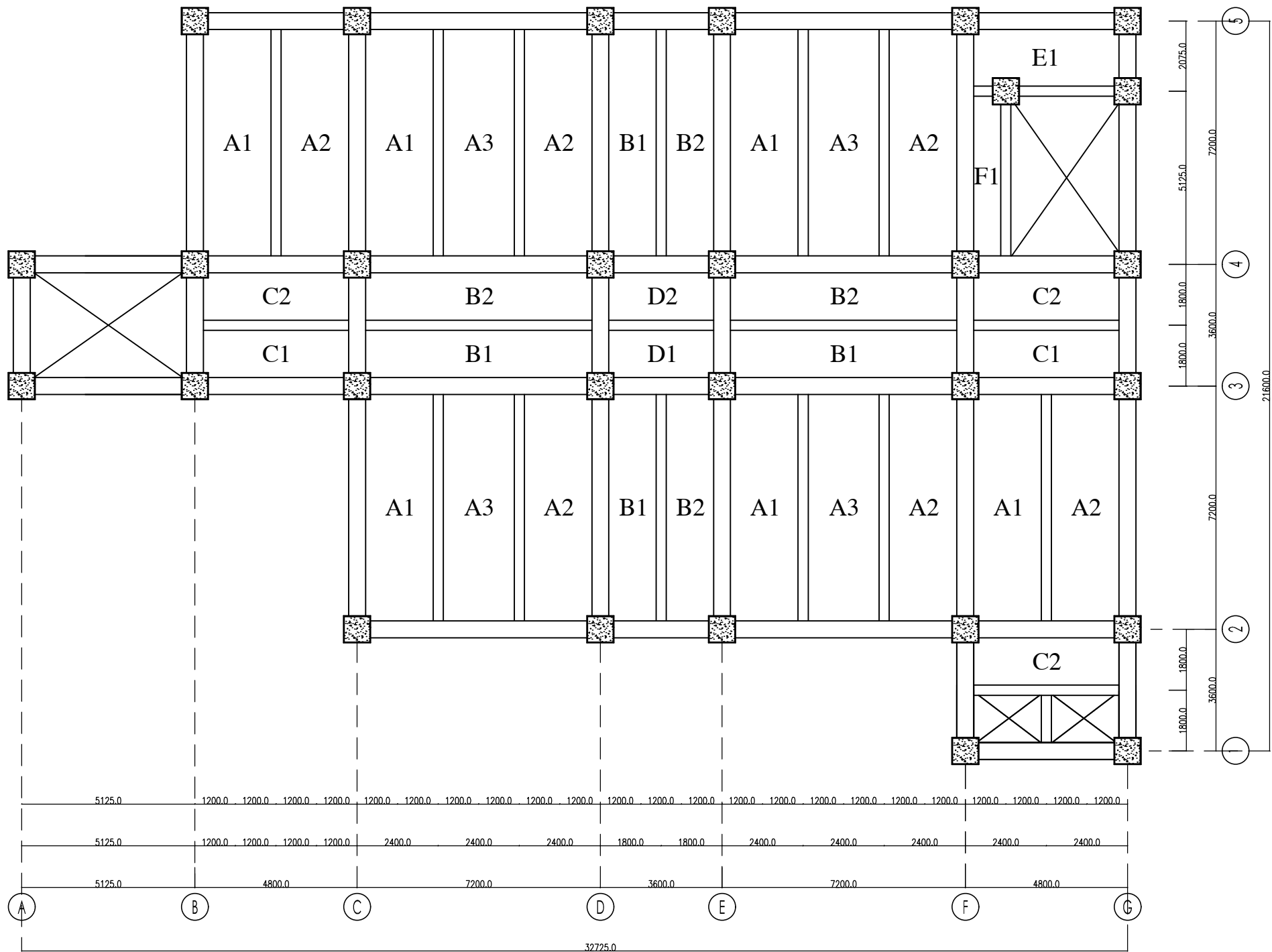
STR

NO GBR

16

JML GBR

93



1:150 DENAH PEMASANGAN PELAT PRECAST LANTAI 2 - 8



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

DENAH PEMASANGAN
PELAT PRECAST
LANTAI ATAP

SKALA

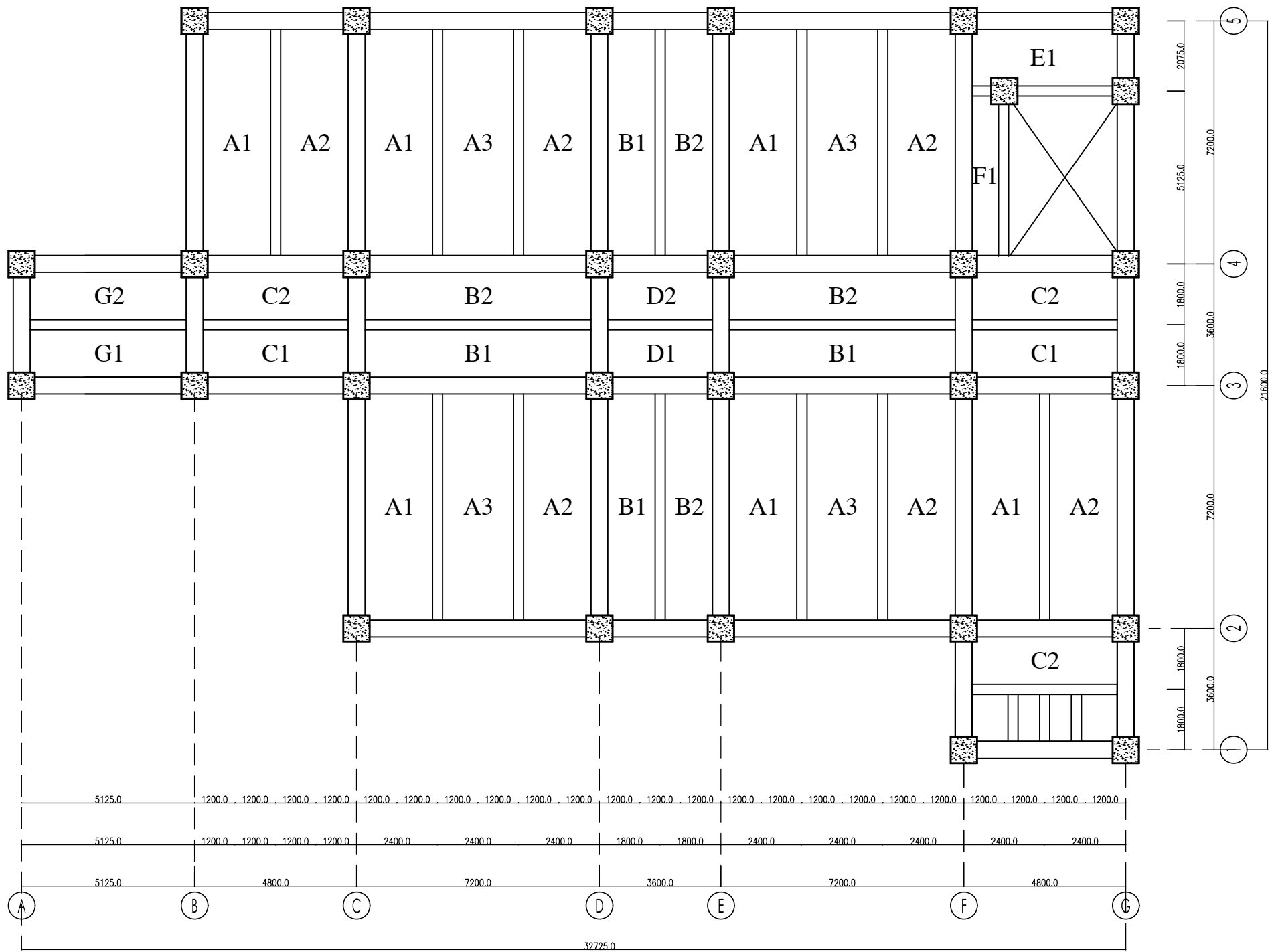
1:150

KODE GBR NO GBR JML GBR

STR

17

93



1:150 DENAH PEMASANGAN PELAT PRECAST LANTAI ATAP



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

PENULANGAN PELAT
TIPE A1

1 : 30

KODE GBR

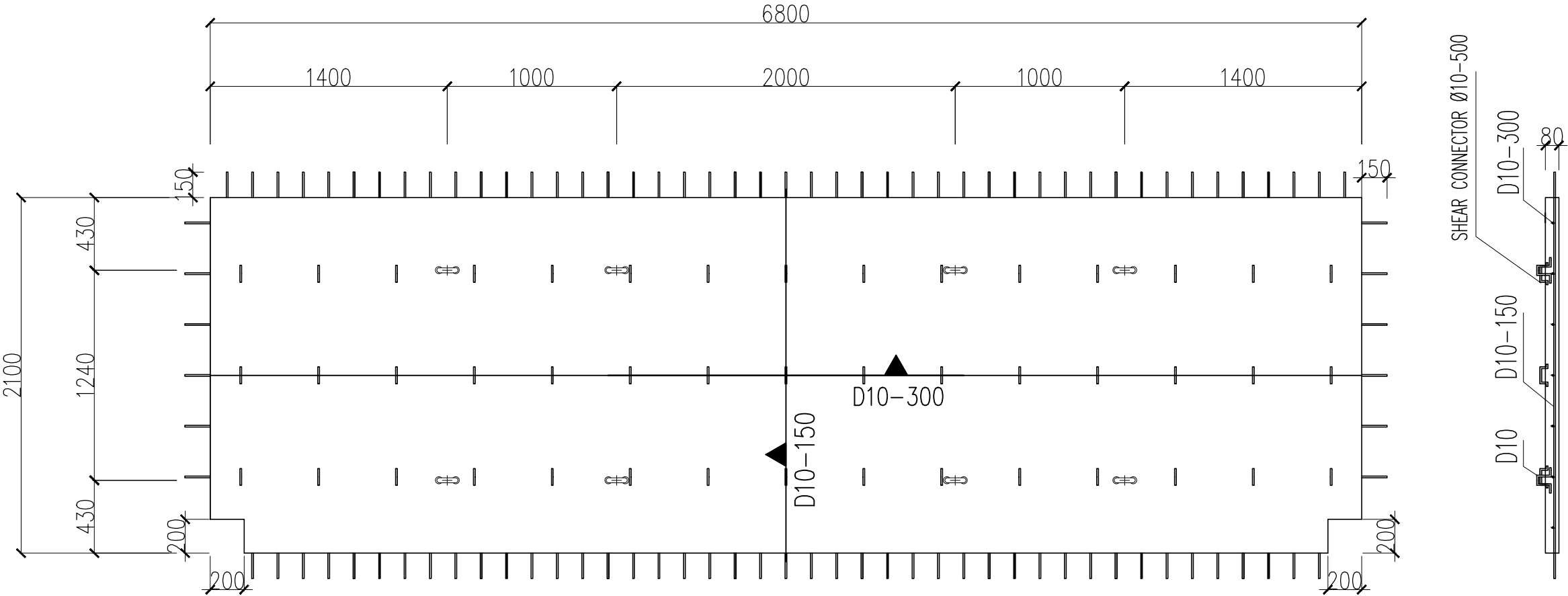
NO GBR

JML GBR

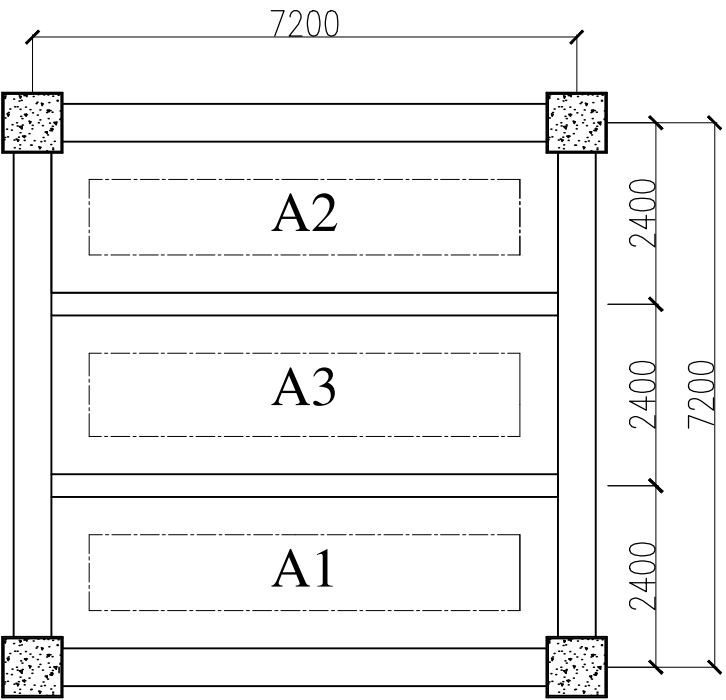
STR

18

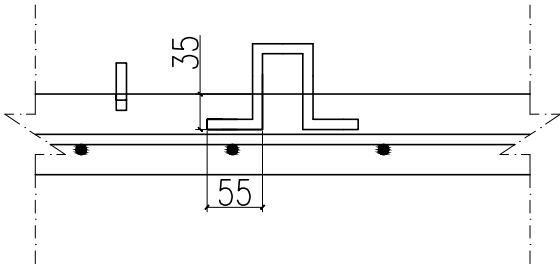
93



1:30 PENULANGAN PELAT TIPE A1



1:100 KEYPLAN PELAT TIPE A



TABEL PELAT PRECAST							
TIPE PELAT	T.SELIMUT (mm)	T.PELAT		DIMENSI PELAT		BERAT (kg)	JUMLAH
		PRACETAK (mm)	TOPPING (mm)	Lx(mm)	Ly(mm)		
A1	20	80	60	2100	6800	4718	48
A2	20	80	60	2200	6800	4943	48
A3	20	80	60	2100	6800	4718	32



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

PENULANGAN PELAT
TIPE A2

1 : 30

KODE GBR

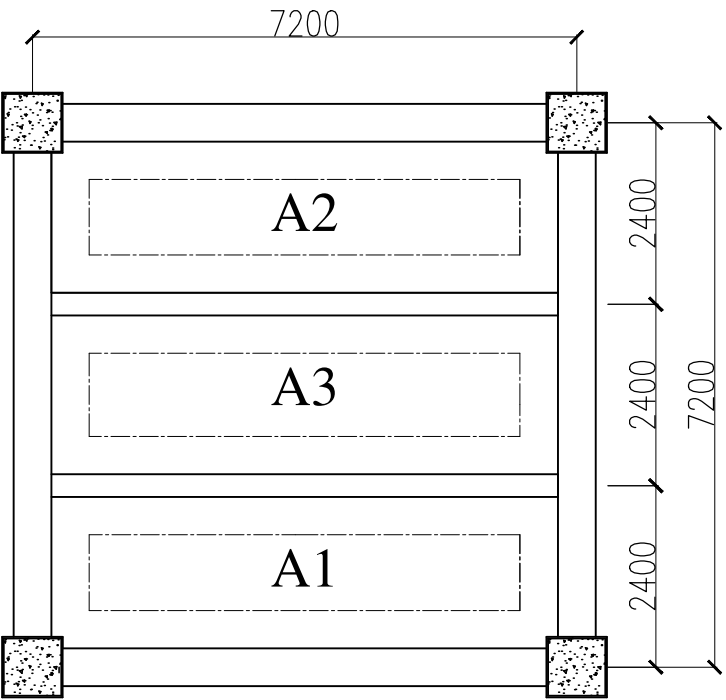
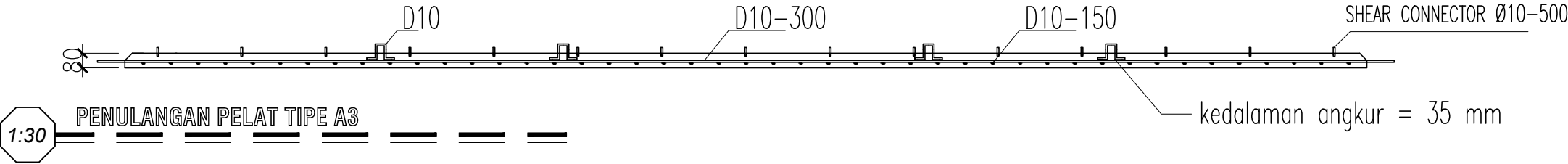
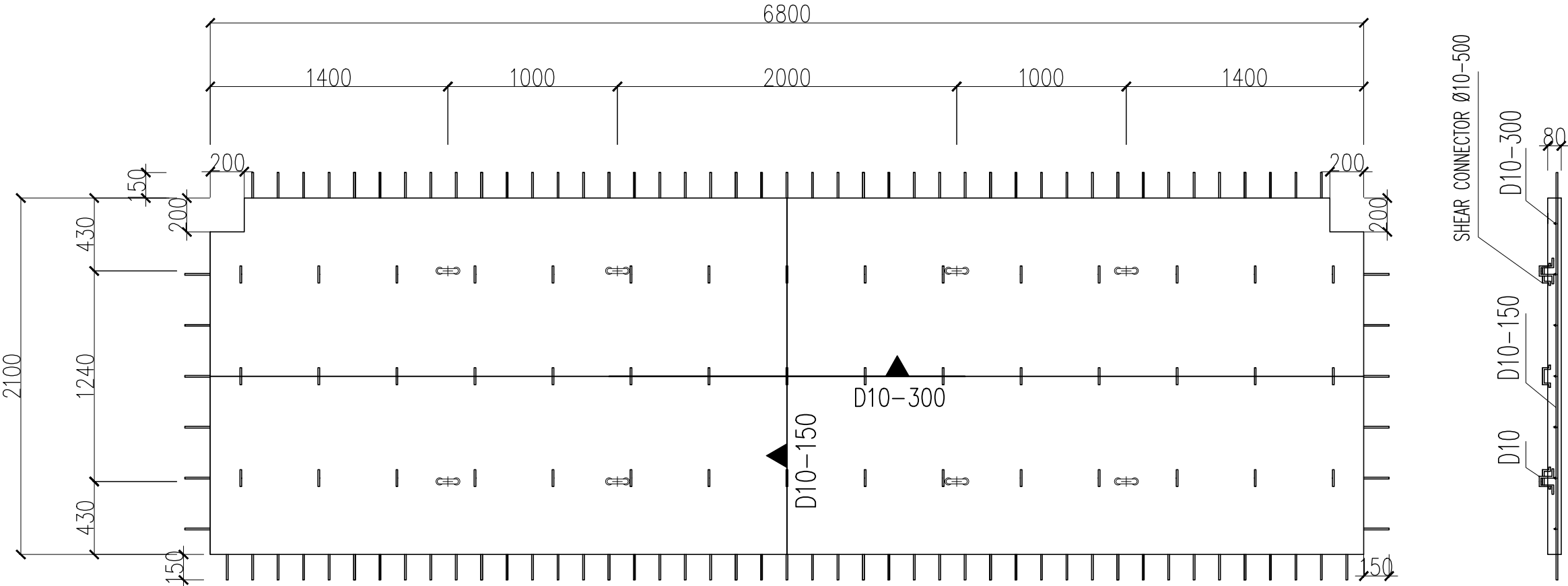
NO GBR

JML GBR

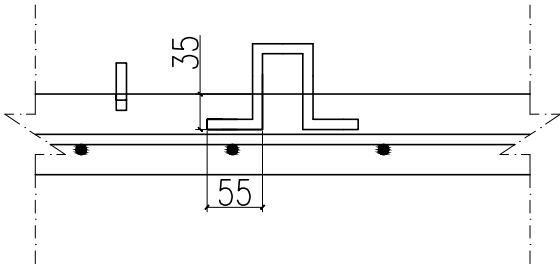
STR

19

93



1:100 KEYPLAN PELAT TIPE A



TABEL PELAT PRECAST

TIPE PELAT	T.SELIMUT (mm)	T.PELAT		DIMENSI PELAT		BERAT (kg)	JUMLAH
		PRACETAK (mm)	TOPPING (mm)	Lx (mm)	Ly (mm)		
A1	20	80	60	2100	6800	4718	48
A2	20	80	60	2200	6800	4943	48
A3	20	80	60	2100	6800	4718	32



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

PENULANGAN PELAT
TIPE A3

1 : 30

KODE GBR

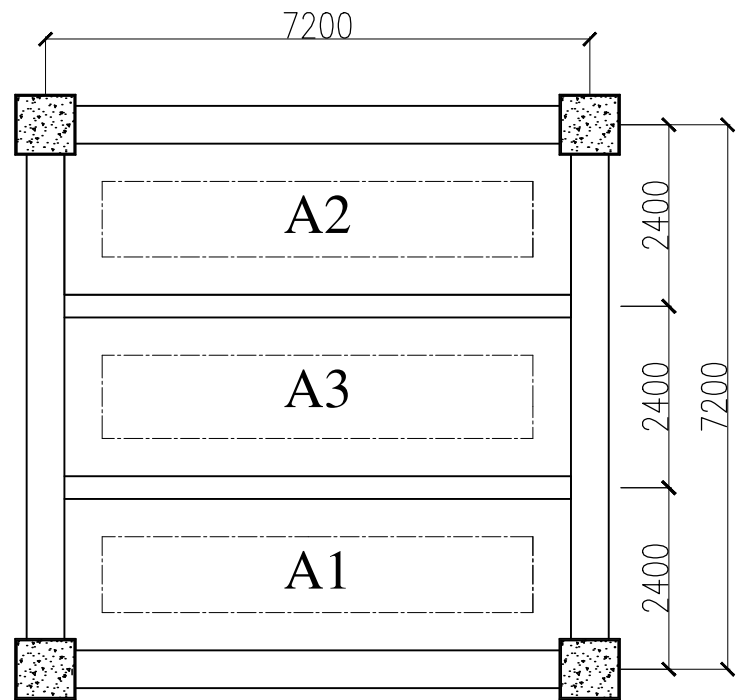
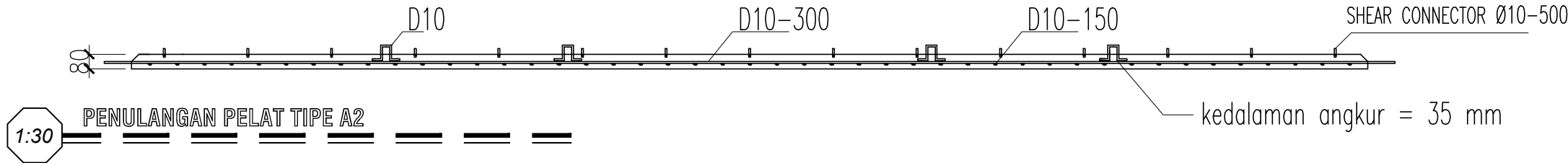
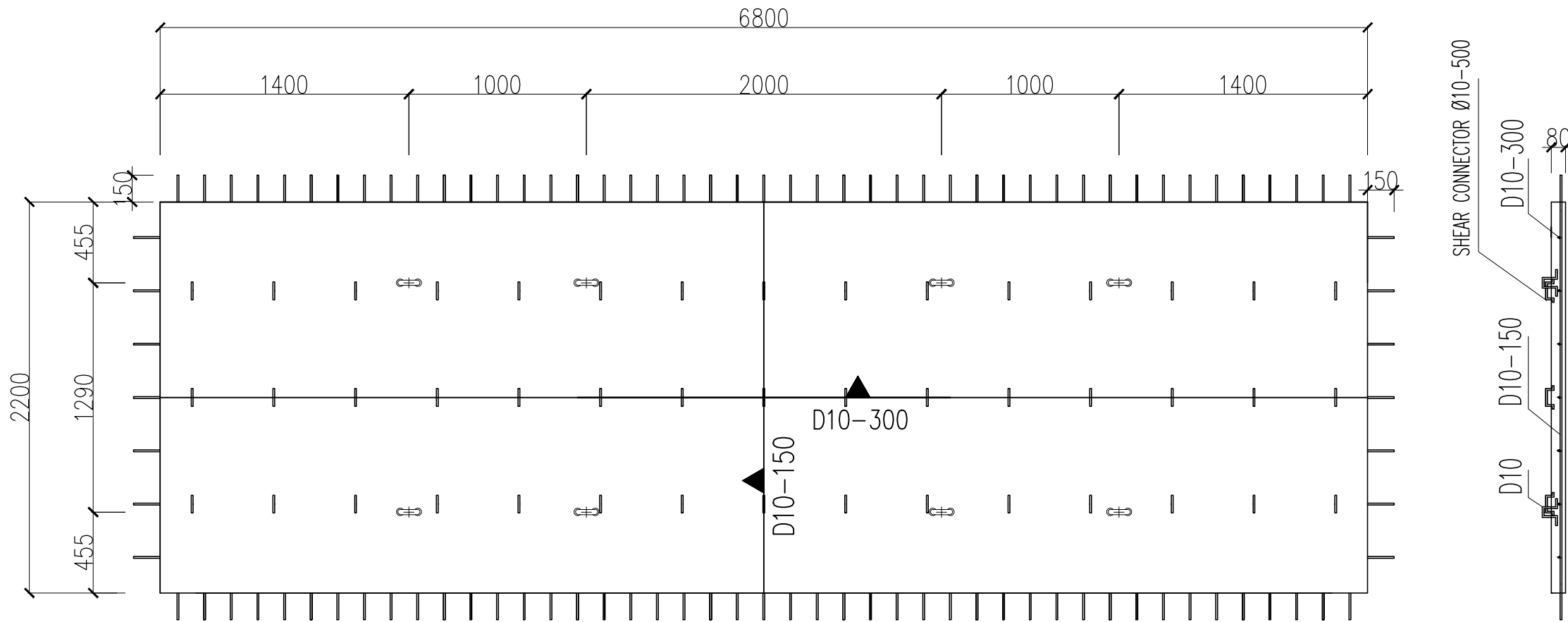
NO GBR

JML GBR

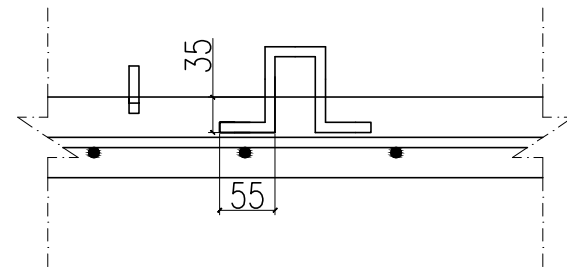
STR

20

93



1:100 KEYPLAN PELAT TIPE A



TABEL PELAT PRECAST

TIPE PELAT	T.SELIMUT (mm)	T.PELAT		DIMENSI PELAT		BERAT (kg)	JUMLAH
		PRACETAK (mm)	TOPPING (mm)	Lx(mm)	Ly(mm)		
A1	20	80	60	2100	6800	4718	48
A2	20	80	60	2200	6800	4943	48
A3	20	80	60	2100	6800	4718	32



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

PENULANGAN PELAT
TIPE B1

SKALA

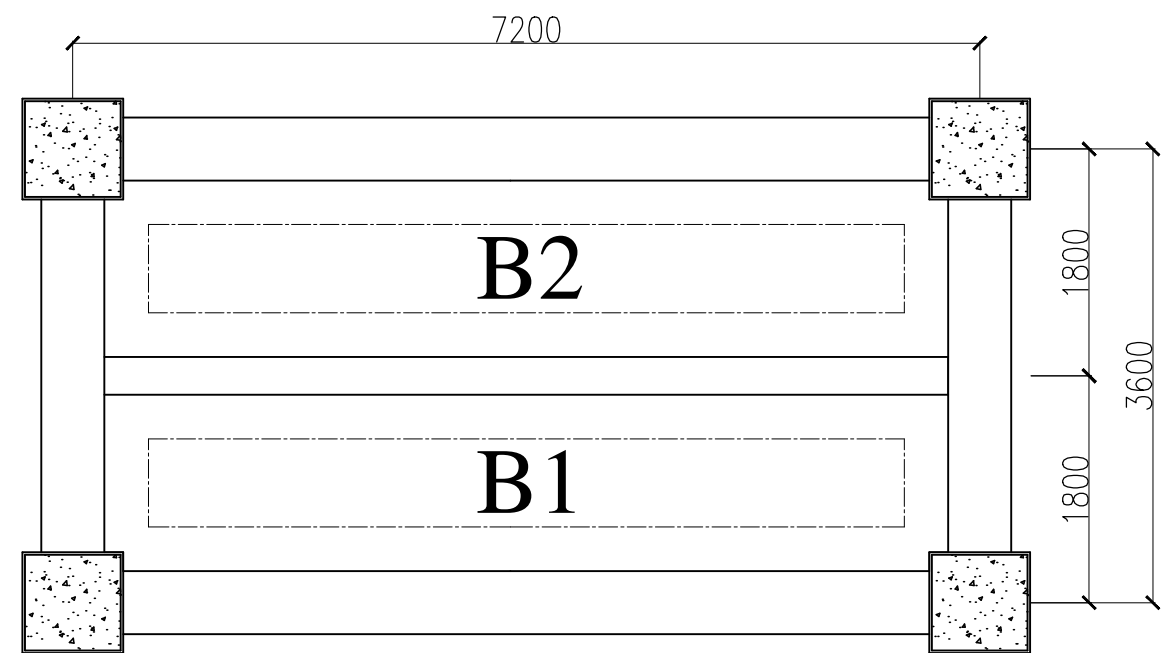
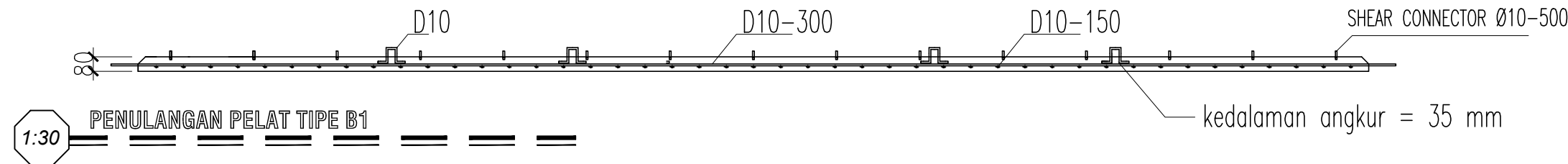
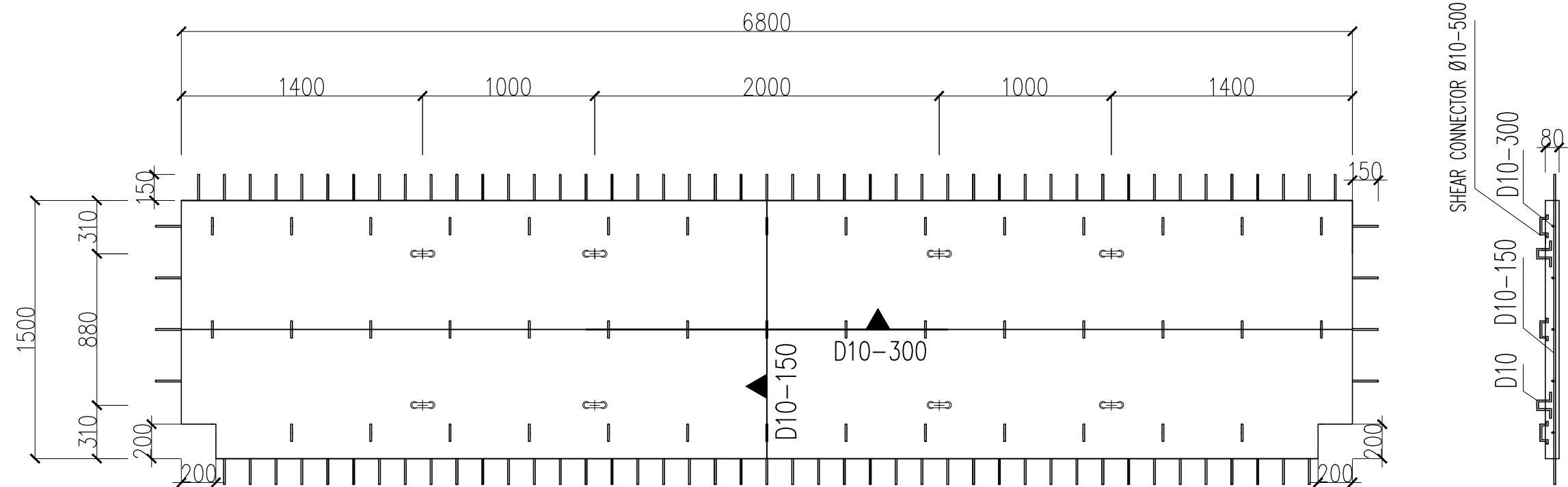
1 : 30

KODE GBR NO GBR JML GBR

STR

21

93



TABEL PELAT PRECAST							
TIPE PELAT	T.SELIMUT (mm)	T.PELAT		DIMENSI PELAT		BERAT (kg)	JUMLAH
		PRACETAK (mm)	TOPPING (mm)	Lx (mm)	Ly (mm)		
B1	20	80	60	1500	6800	3370	32
B2	20	80	60	1500	6800	3370	32



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 1011141000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

PENULANGAN PELAT
TIPE B2

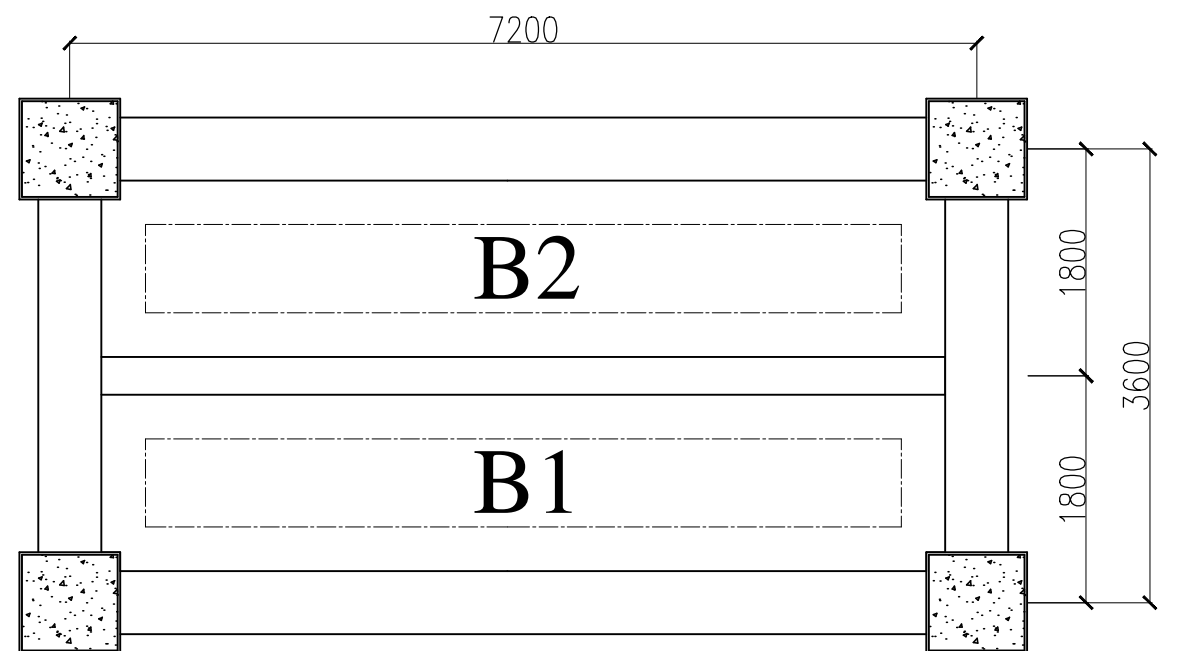
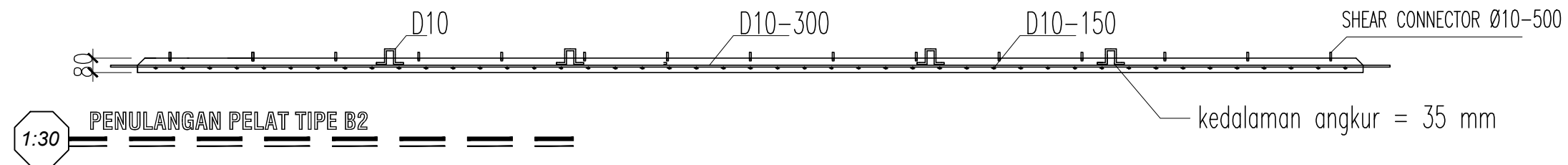
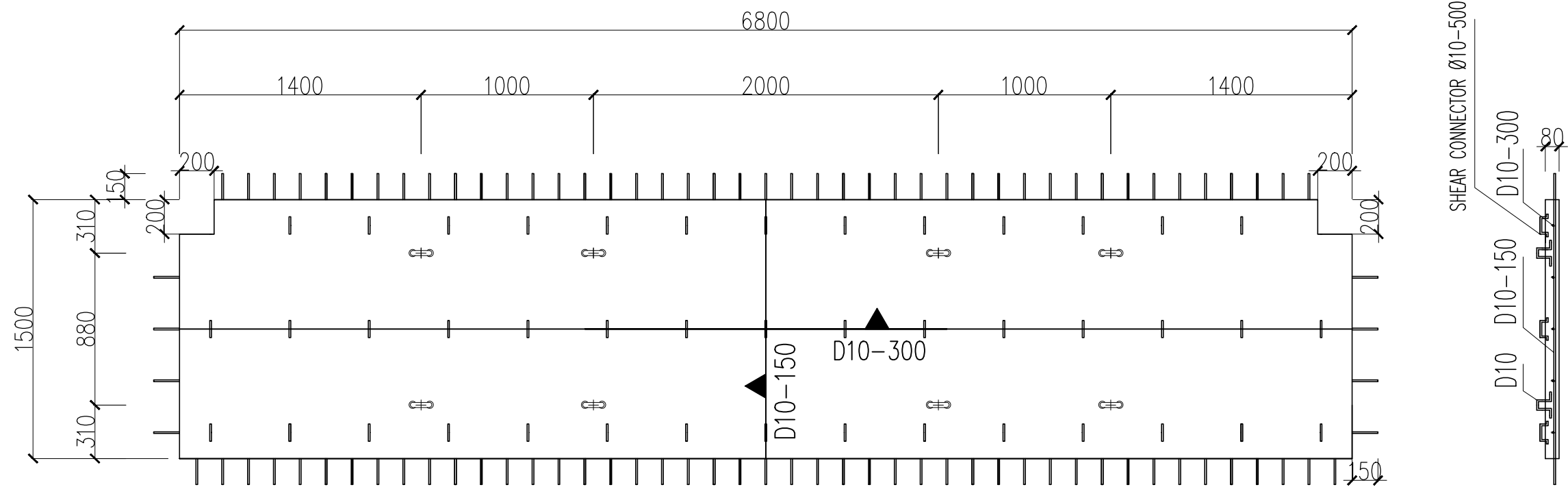
1 : 30

KODE GBR NO GBR JML GBR

STR

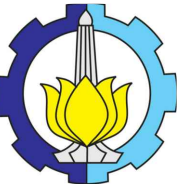
22

93



1:60 KEYPLAN PELAT TIPE B

TABEL PELAT PRECAST							
TIPE PELAT	T.SELIMUT (mm)	T.PELAT		DIMENSI PELAT		BERAT (kg)	JUMLAH
		PRACETAK (mm)	TOPPING (mm)	Lx(mm)	Ly(mm)		
B1	20	80	60	1500	6800	3370	32
B2	20	80	60	1500	6800	3370	32



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

PENULANGAN PELAT
TIPE C1

1 : 30

KODE GBR

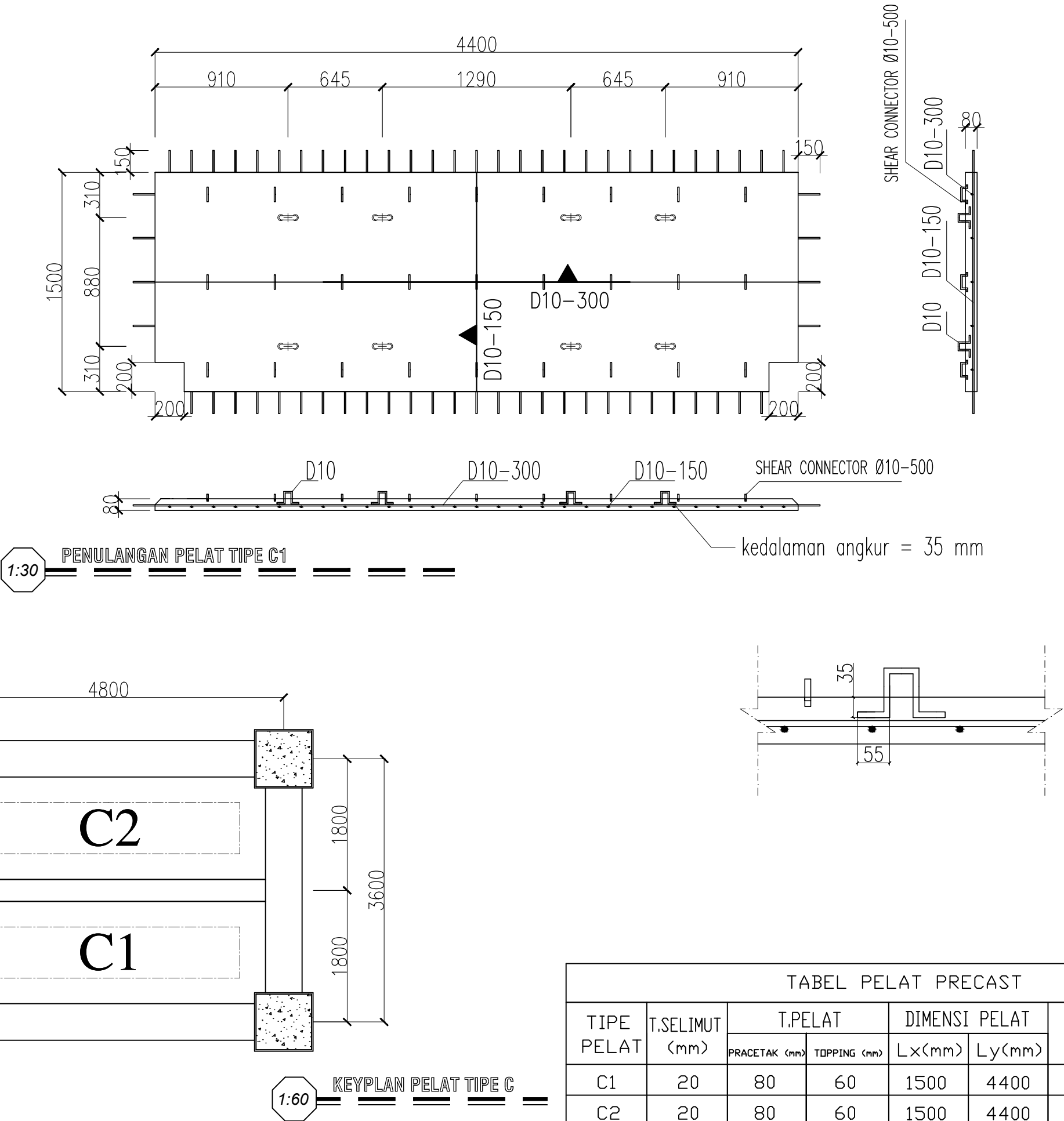
NO GBR

JML GBR

STR

23

93





DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

PENULANGAN PELAT TIPE C2

1 : 30

KODE GBR

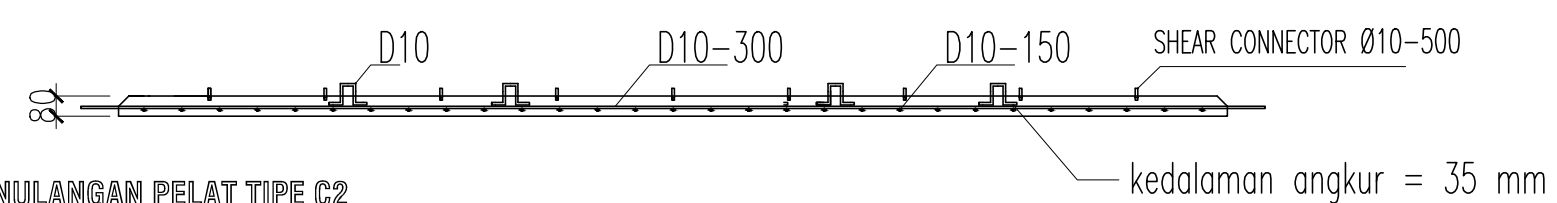
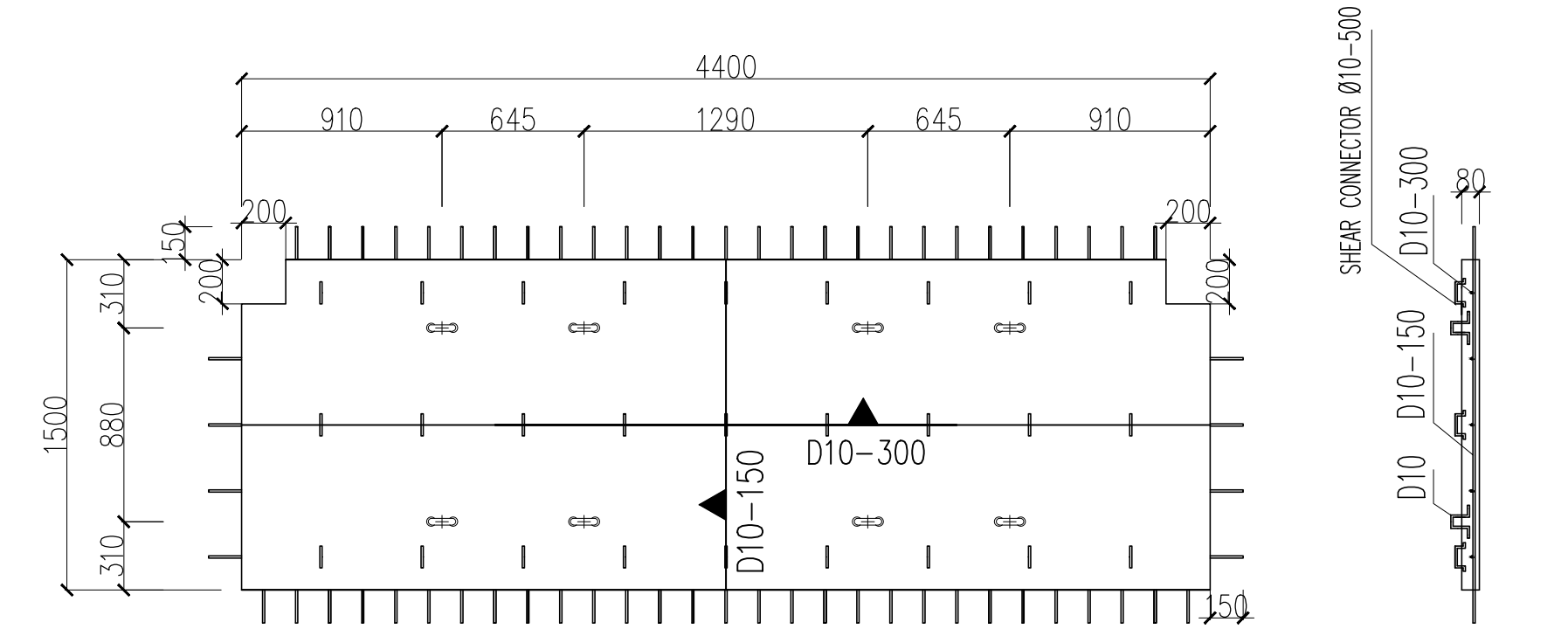
NO GBR

JML GBR

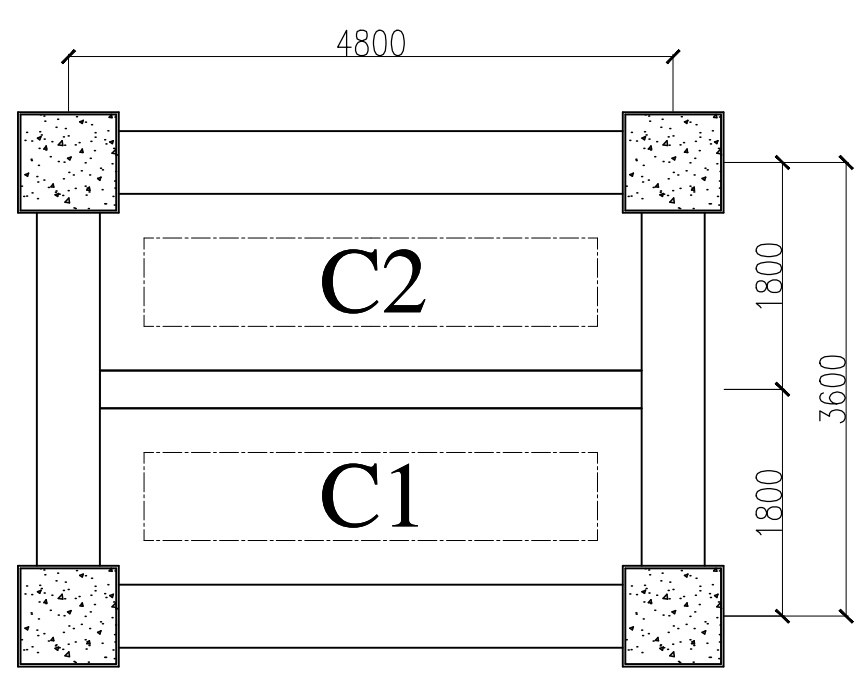
STR

24

93



1:30 PENULANGAN PELAT TIPE C2



1:60 KEYPLAN PELAT TIPE C

TABEL PELAT PRECAST							
TIPE PELAT	T.SELIMUT (mm)	T.PELAT		DIMENSI PELAT		BERAT (kg)	JUMLAH
		PRACETAK (mm)	TOPPING (mm)	Lx(mm)	Ly(mm)		
C1	20	80	60	1500	4400	2181	16
C2	20	80	60	1500	4400	2181	24



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

PENULANGAN PELAT
TIPE D1

1 : 30

KODE GBR

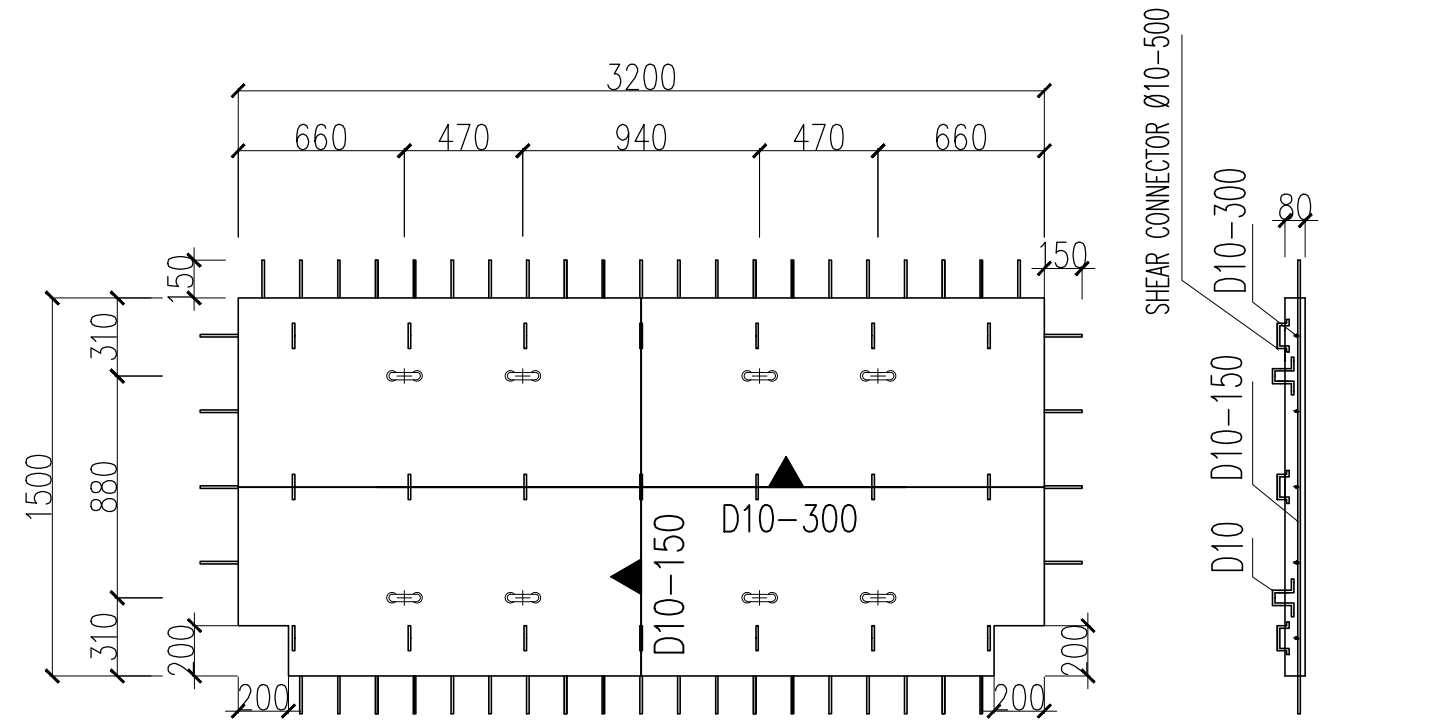
NO GBR

JML GBR

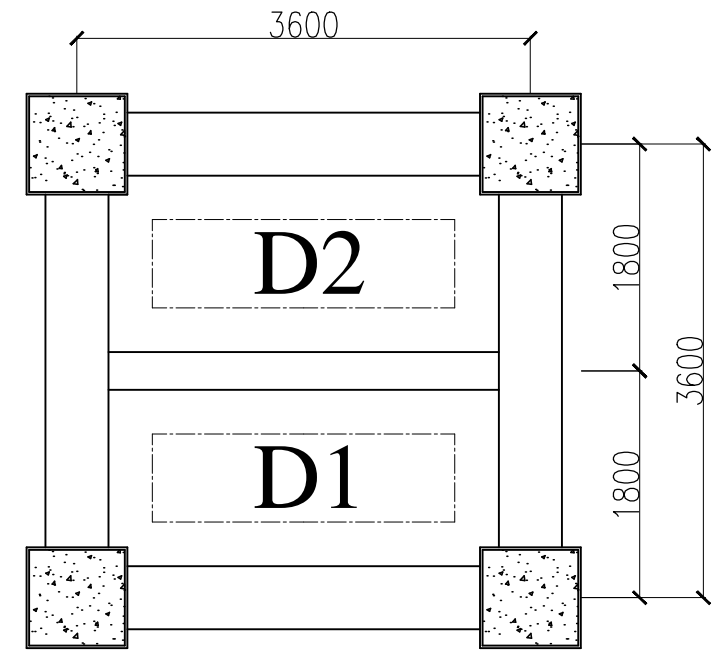
STR

25

93



1:30 PENULANGAN PELAT TIPE D1



1:60 KEYPLAN PELAT TIPE D

TABEL PELAT PRECAST							
TIPE PELAT	T.SELIMUT (mm)	T.PELAT		DIMENSI PELAT		BERAT (kg)	JUMLAH
		PRACETAK (mm)	TOPPING (mm)	Lx(mm)	Ly(mm)		
D1	20	80	60	1500	3200	1586	8
D2	20	80	60	1500	3200	1586	8



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

PENULANGAN PELAT
TIPE D2

1 : 30

KODE GBR

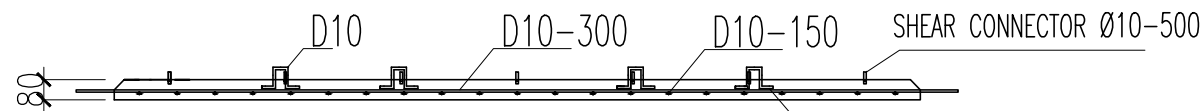
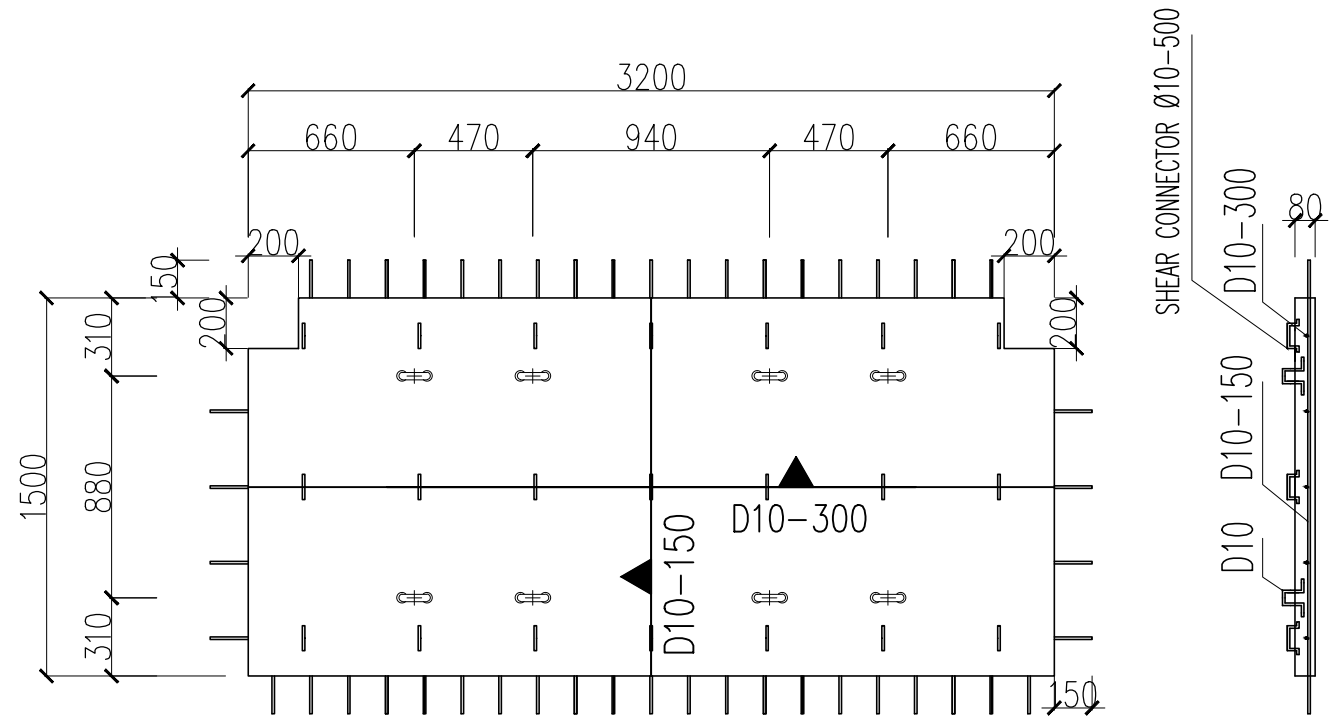
NO GBR

JML GBR

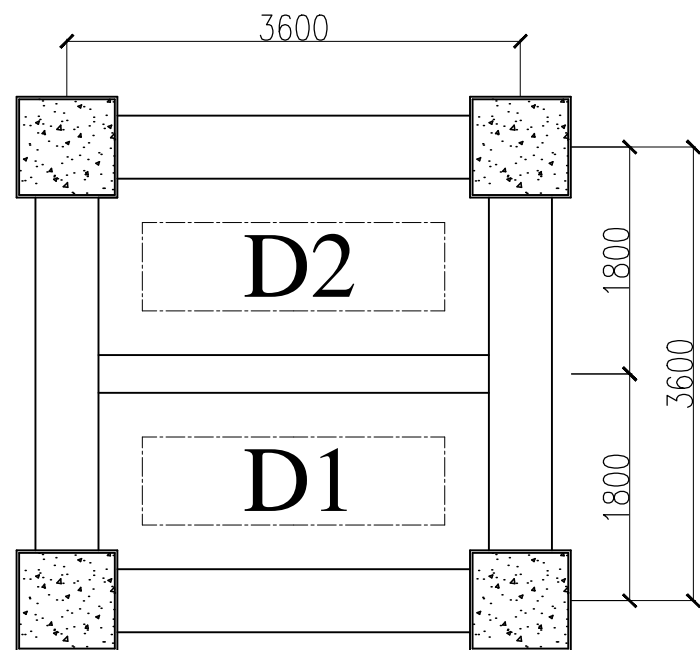
STR

26

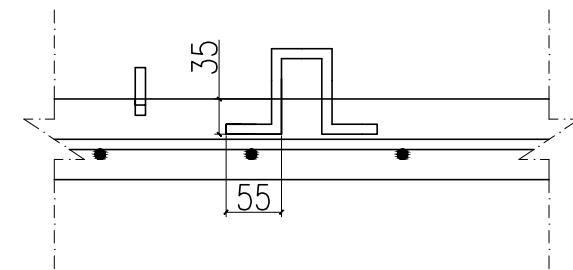
93



1:30 PENULANGAN PELAT TIPE D2



1:60 KEYPLAN PELAT TIPE D



TABEL PELAT PRECAST							
TIPE PELAT	T.SELIMUT (mm)	T.PELAT		DIMENSI PELAT		BERAT (kg)	JUMLAH
		PRACETAK (mm)	TOPPING (mm)	Lx(mm)	Ly(mm)		
D1	20	80	60	1500	3200	1586	8
D2	20	80	60	1500	3200	1586	8



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

PENULANGAN PELAT
TIPE E1

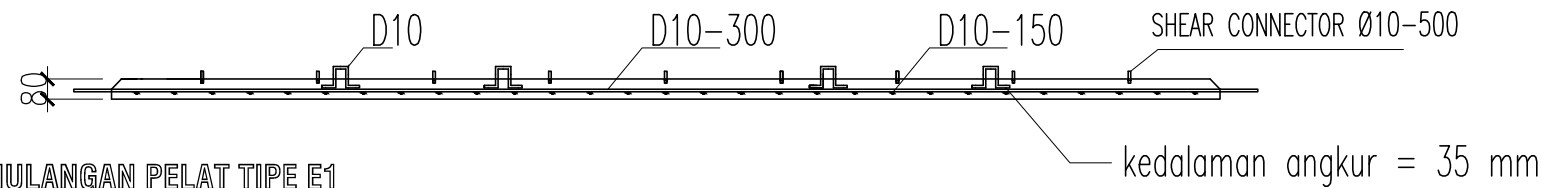
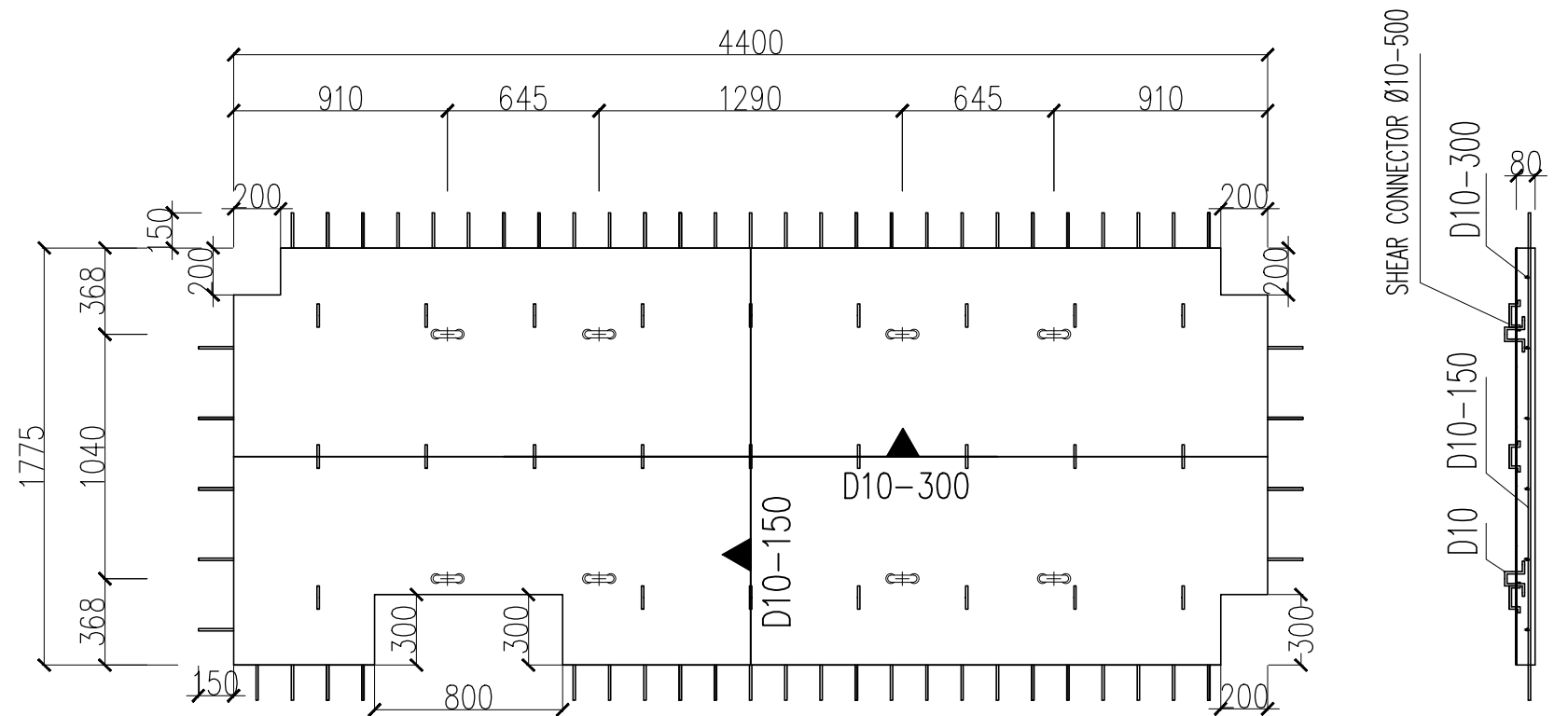
1 : 30

KODE GBR NO GBR JML GBR

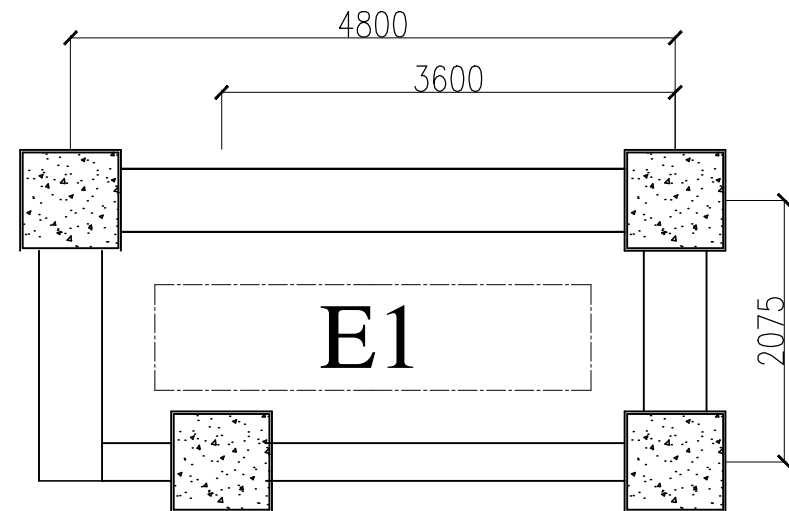
STR

27

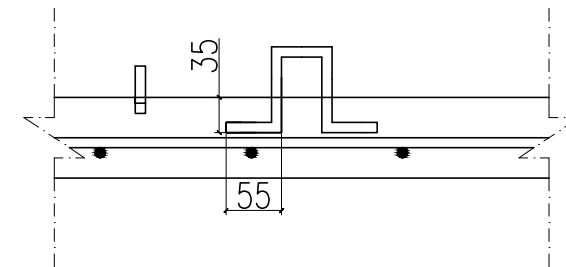
93



1:30 PENULANGAN PELAT TIPE E1



1:60 KEYPLAN PELAT TIPE E



TABEL PELAT PRECAST

TIPE PELAT	T.SELIMUT (mm)	T.PELAT		DIMENSI PELAT		BERAT (kg)	JUMLAH
		PRACETAK (mm)	TOPPING (mm)	Lx(mm)	Ly(mm)		
E1	20	80	60	1775	4400	2580	8



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

PENULANGAN PELAT
TIPE F1

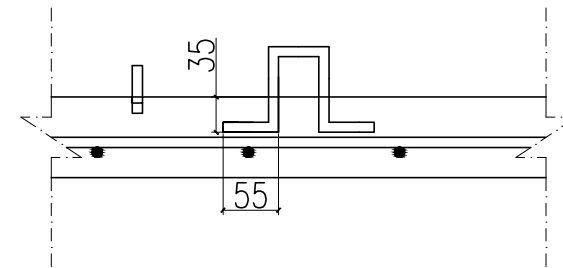
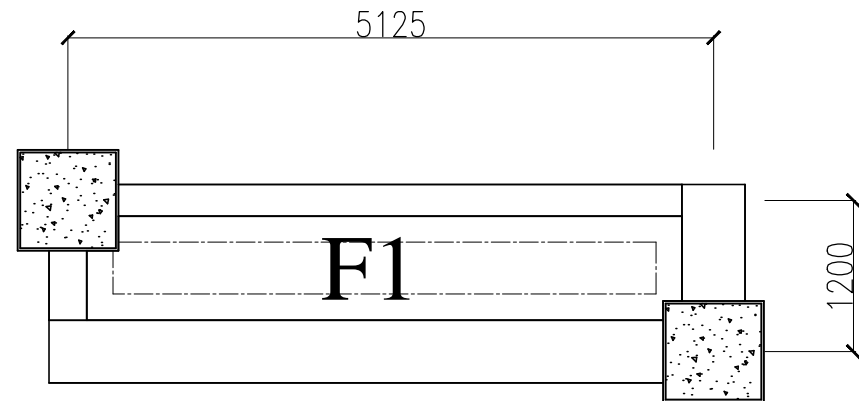
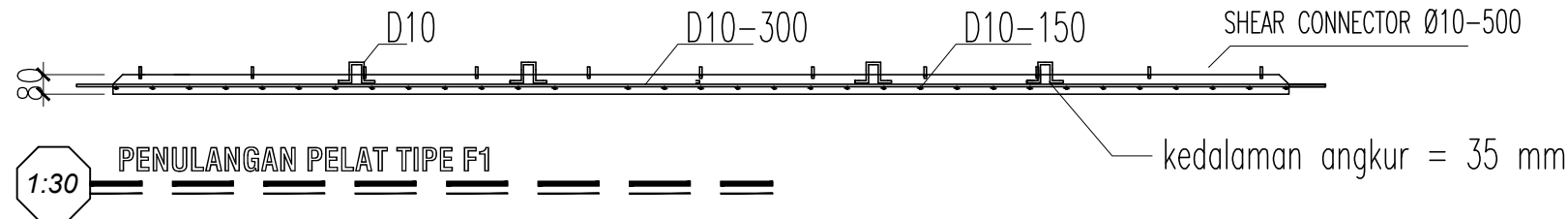
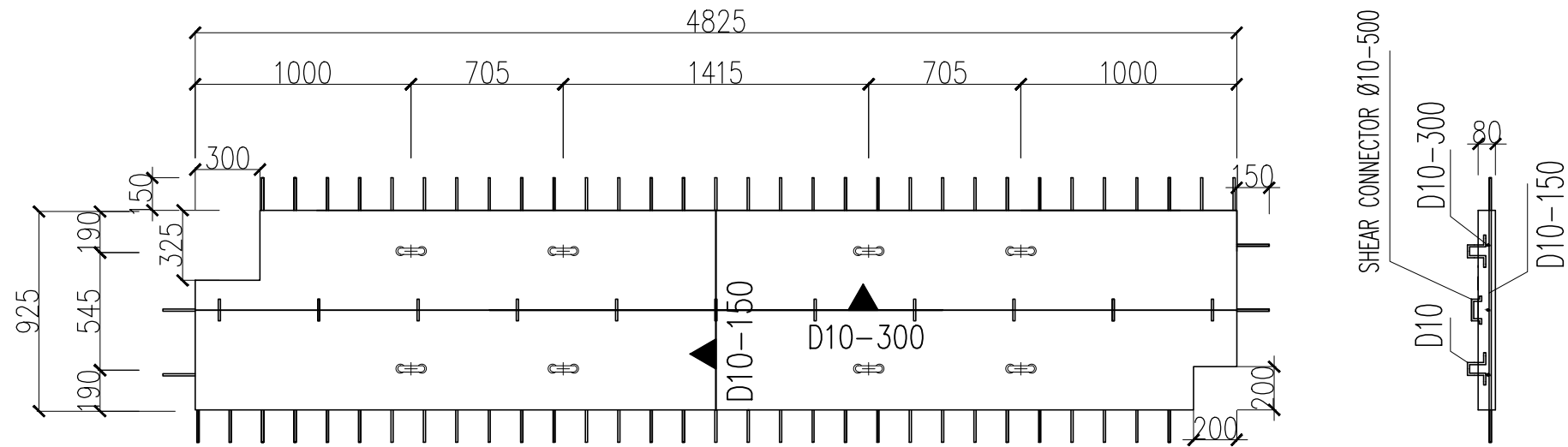
1 : 30

KODE GBR NO GBR JML GBR

STR

28

93



TABEL PELAT PRECAST

TIPE PELAT	T.SELIMUT (mm)	T.PELAT		DIMENSI PELAT		BERAT (kg)	JUMLAH
		PRACETAK (mm)	TOPPING (mm)	Lx (mm)	Ly (mm)		
F1	20	80	60	925	4825	1475	8



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

PENULANGAN PELAT
TIPE G1

1 : 30

KODE GBR

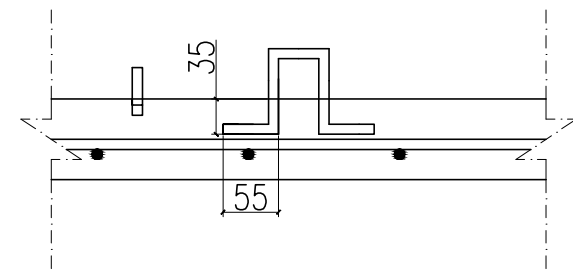
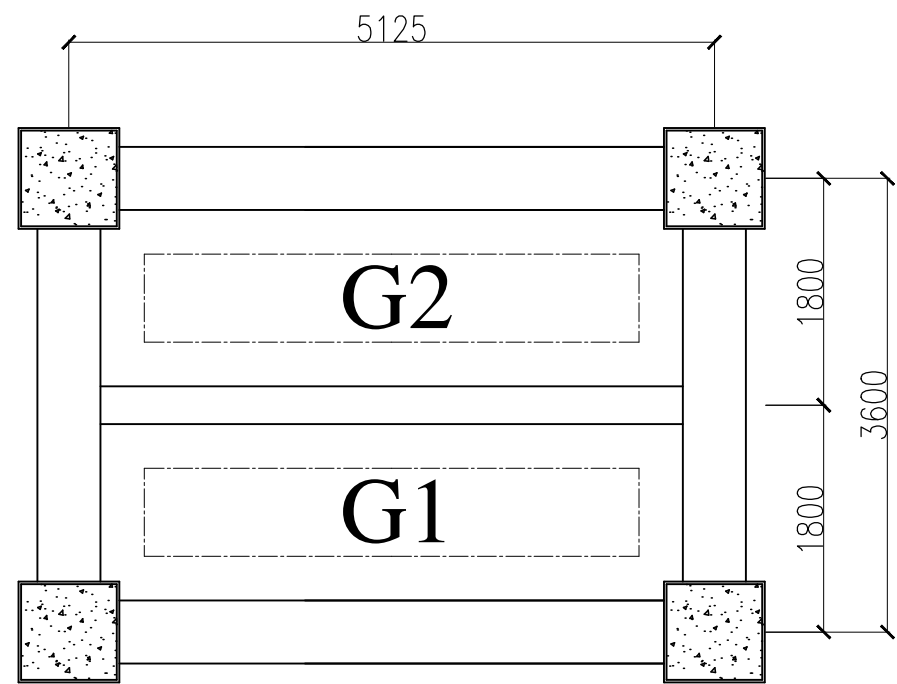
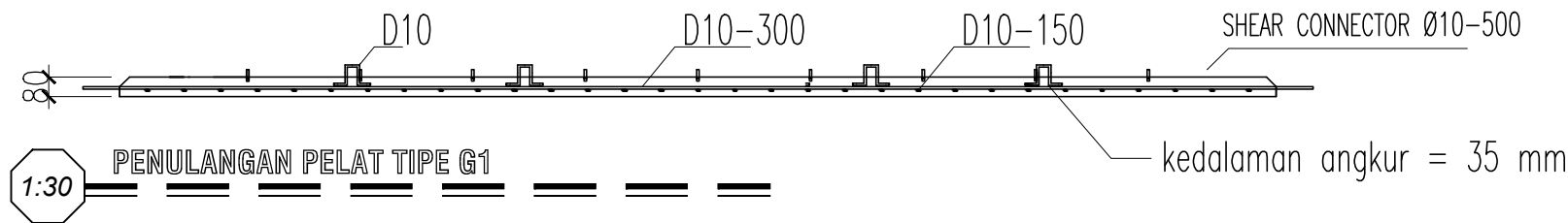
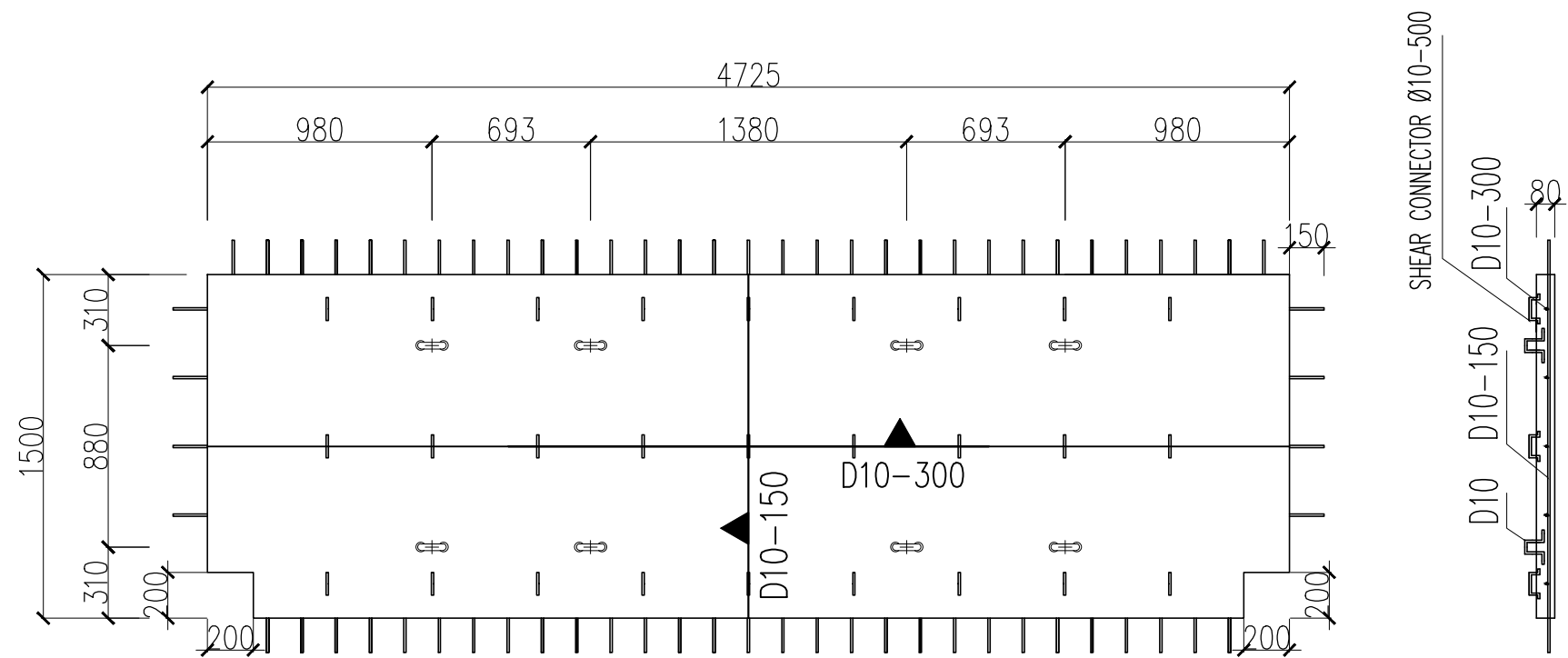
NO GBR

JML GBR

STR

29

93



TABEL PELAT PRECAST							
TIPE PELAT	T.SELIMUT (mm)	T.PELAT		DIMENSI PELAT		BERAT (kg)	JUMLAH
		PRACETAK (mm)	TOPPING (mm)	Lx(mm)	Ly(mm)		
G1	20	80	60	1500	4725	2342	1
G2	20	80	60	1500	4725	2342	1



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

PENULANGAN PELAT
TIPE G2

1 : 30

KODE GBR

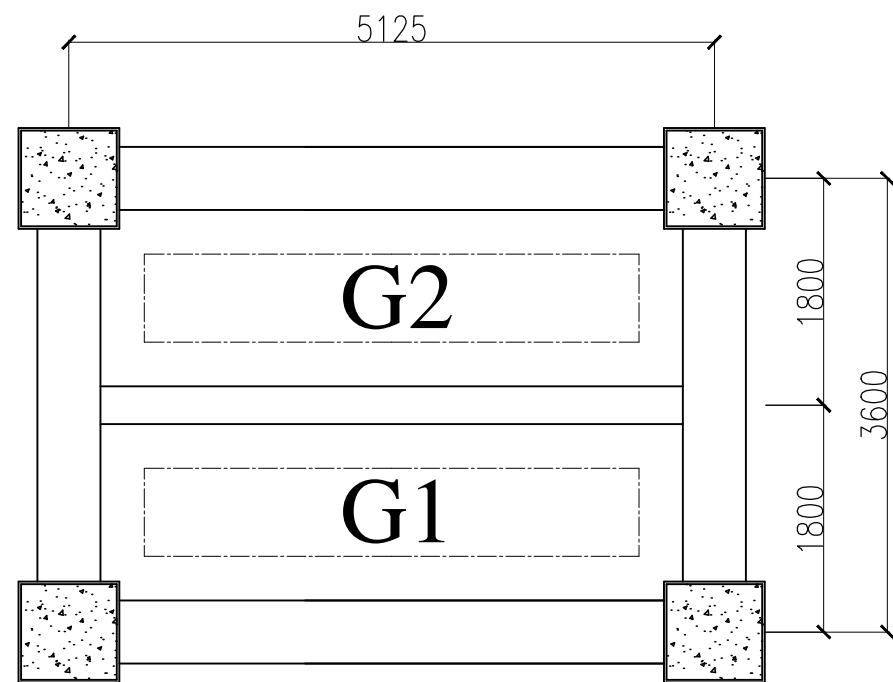
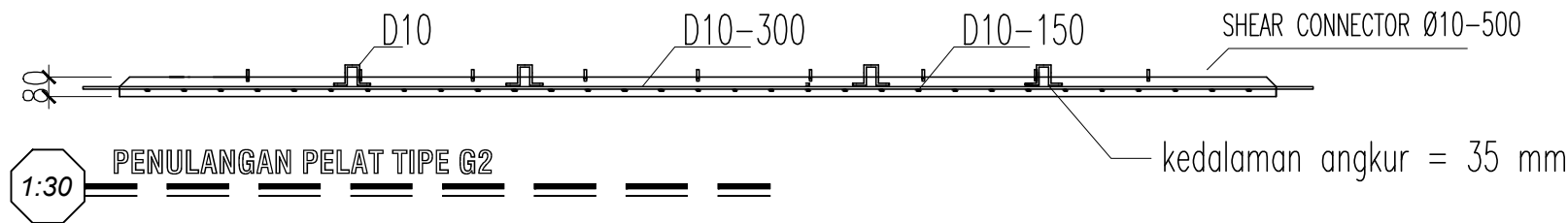
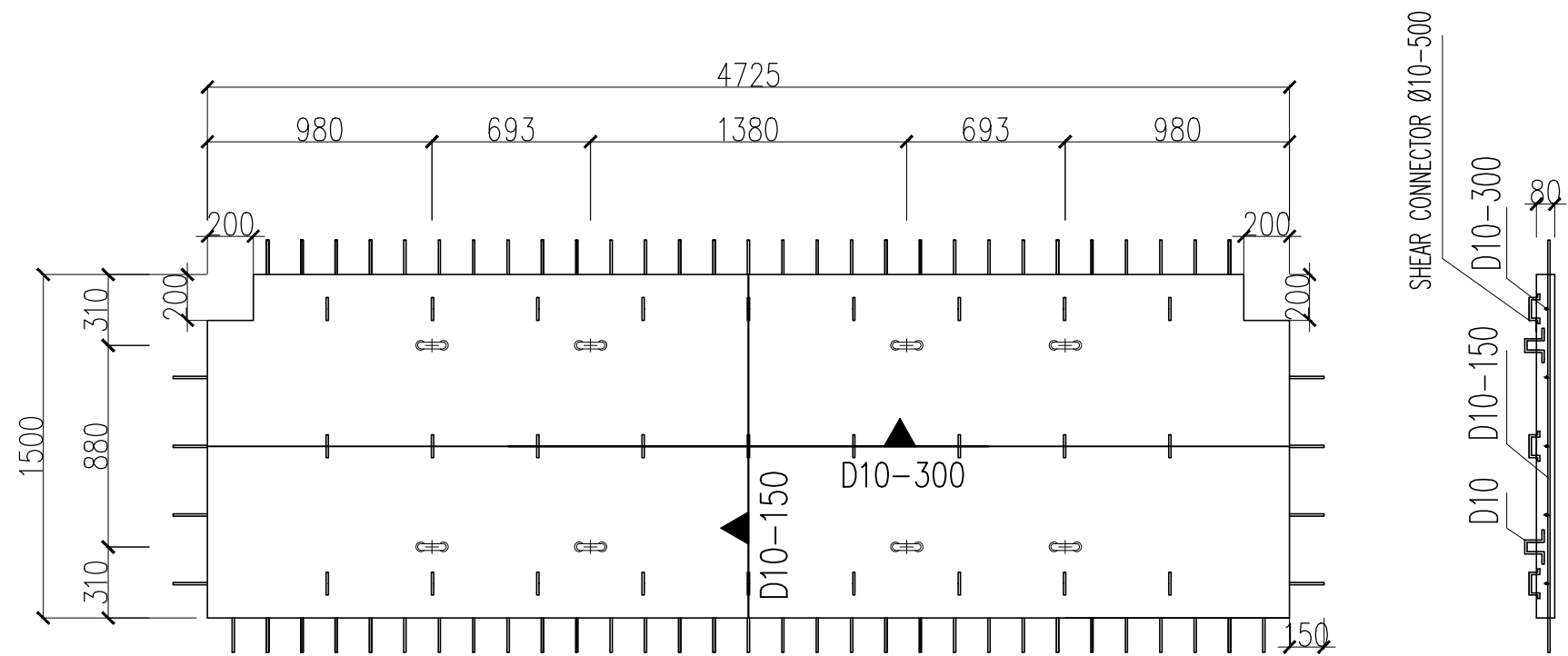
NO GBR

JML GBR

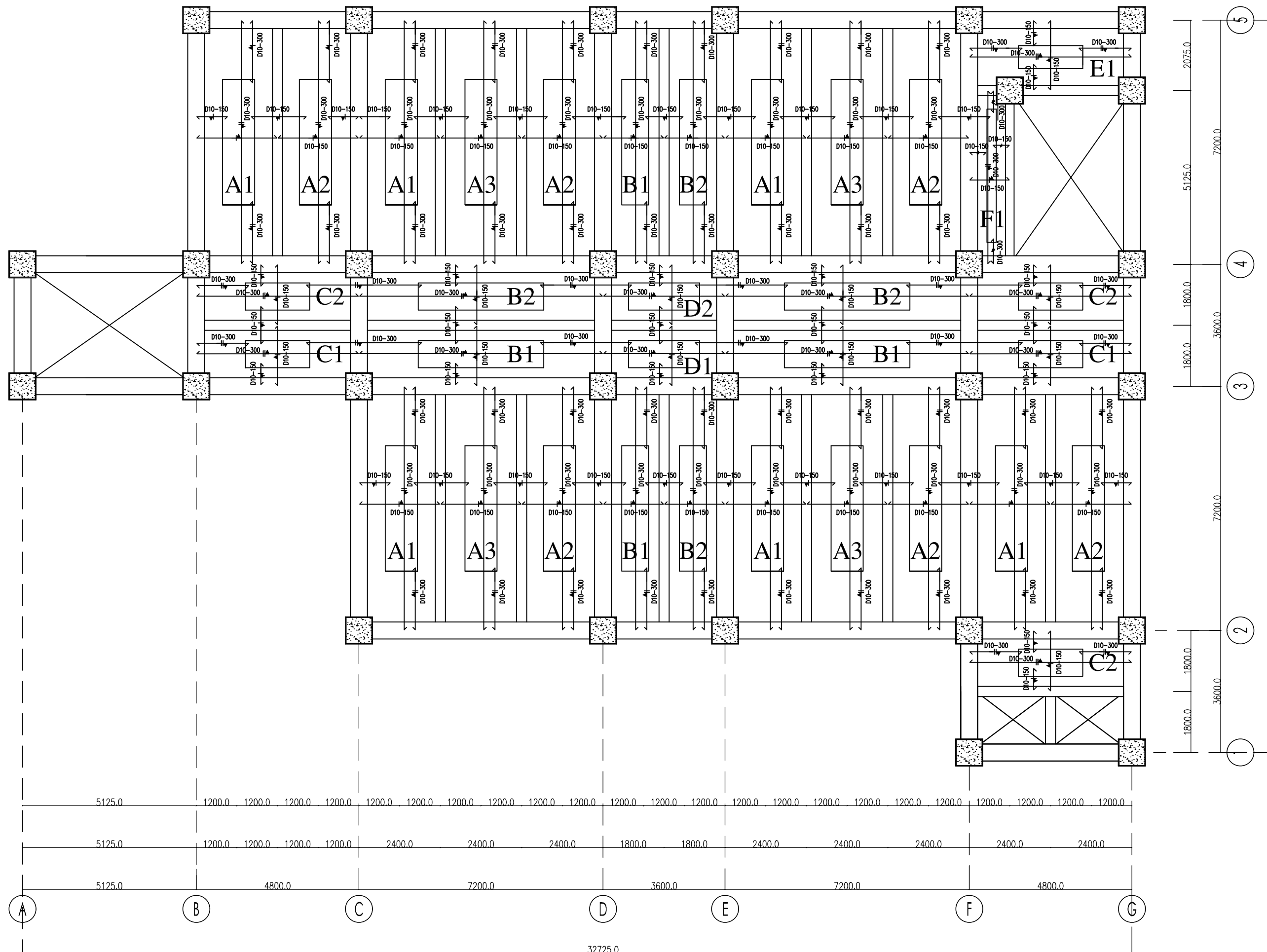
STR

30

93



TABEL PELAT PRECAST							
TIPE PELAT	T.SELIMUT (mm)	T.PELAT		DIMENSI PELAT		BERAT (kg)	JUMLAH
		PRACETAK (mm)	TOPPING (mm)	Lx(mm)	Ly(mm)		
G1	20	80	60	1500	4725	2342	1
G2	20	80	60	1500	4725	2342	1



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 1011141000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

PENULANGAN PELAT
SETELAH KOMPOSIT
LANTAI 2 - LANTAI 8

SKALA

1:110

KODE GBR

STR

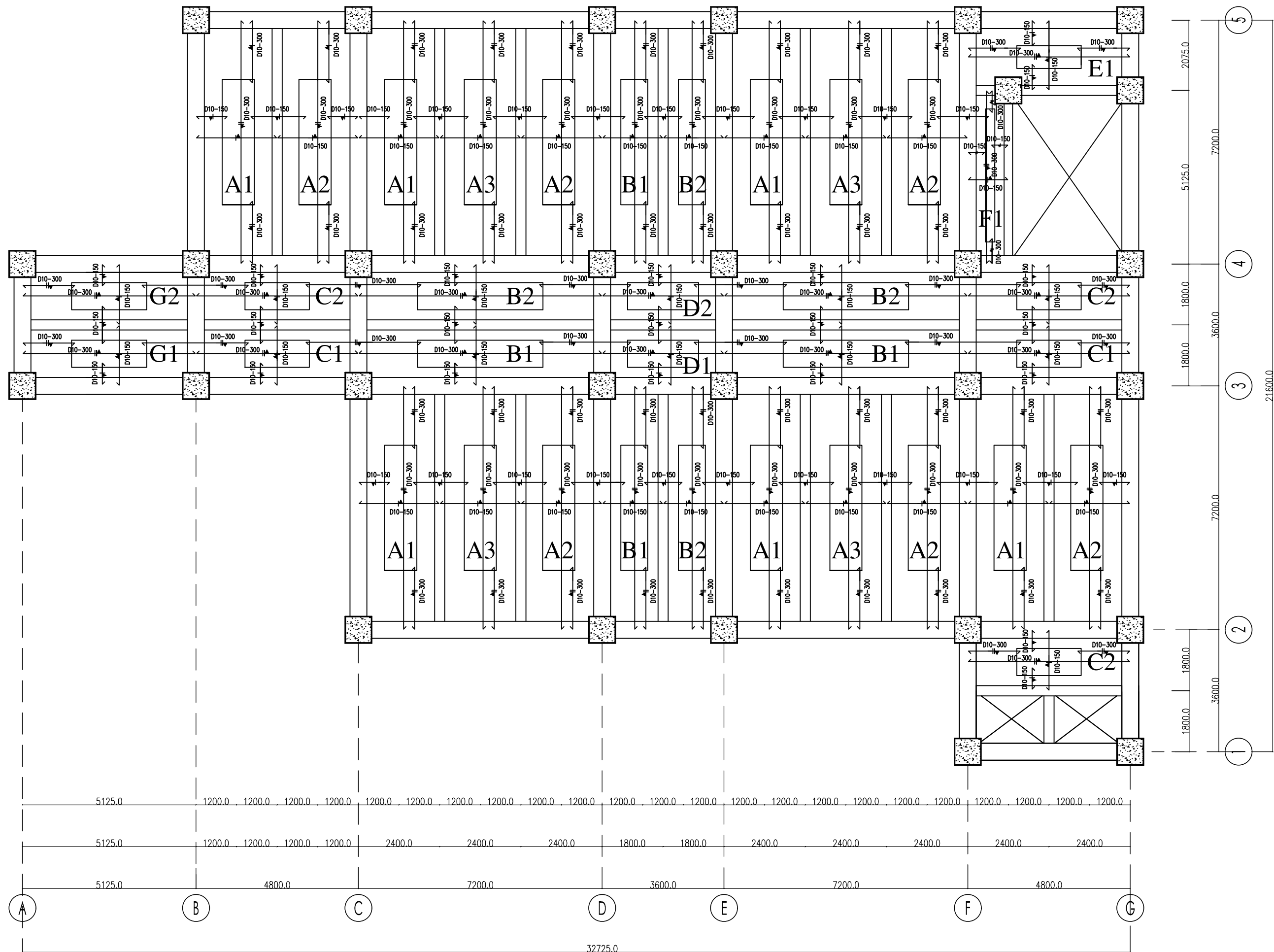
31

JML GBR

93

1:110

PENULANGAN PELAT SETELAH KOMPOSIT LT 2 - 8



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 1011141000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

PENULANGAN PELAT
SETELAH KOMPOSIT
LANTAI ATAP

SKALA

1:110

KODE GBR NO GBR JML GBR

STR

32

93

1:110

PENULANGAN PELAT SETELAH KOMPOSIT LT ATAP



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 1011141000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
PELAT TIPE A
SETELAH KOMPOSIT

SKALA

1 : 50

KODE GBR

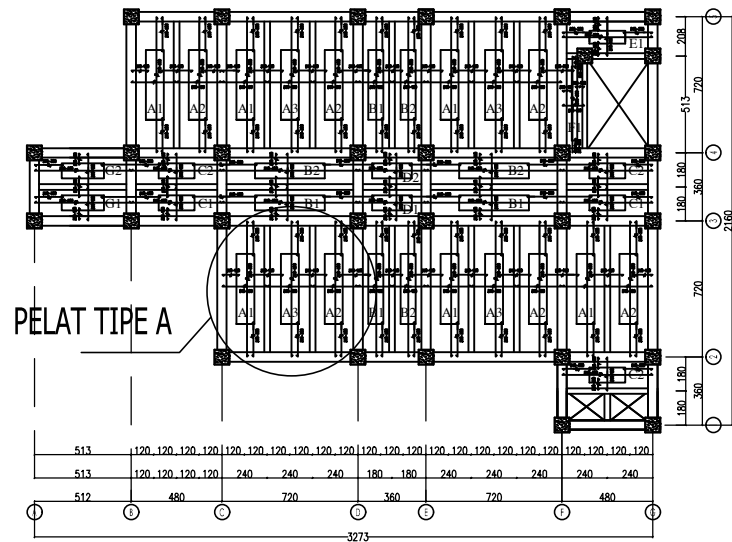
STR

NO GBR

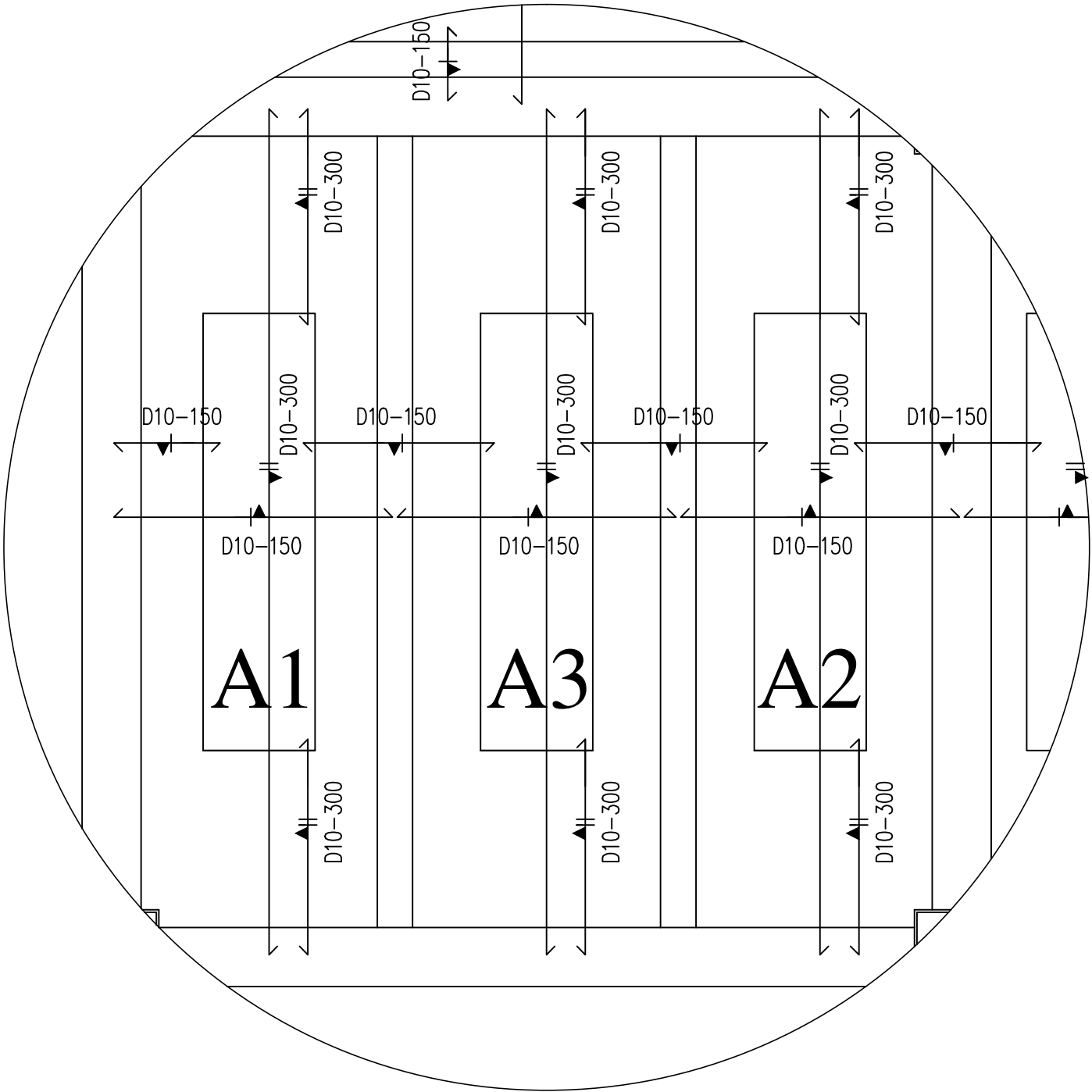
33

JML GBR

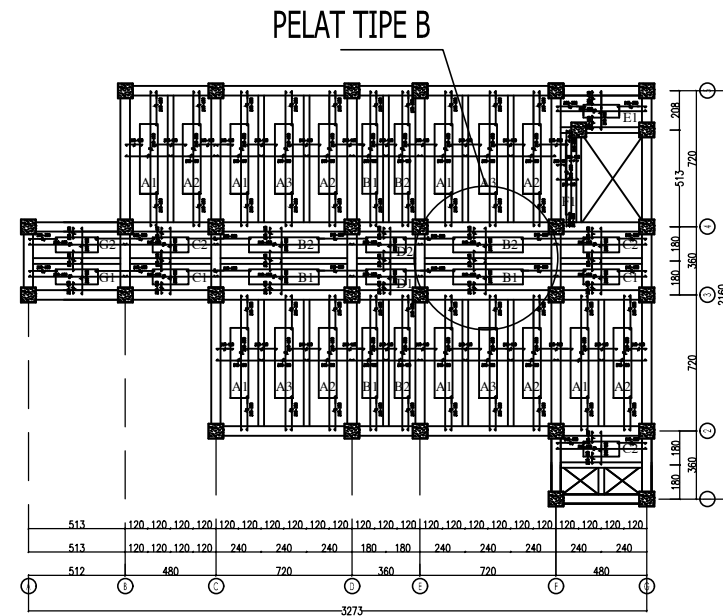
93



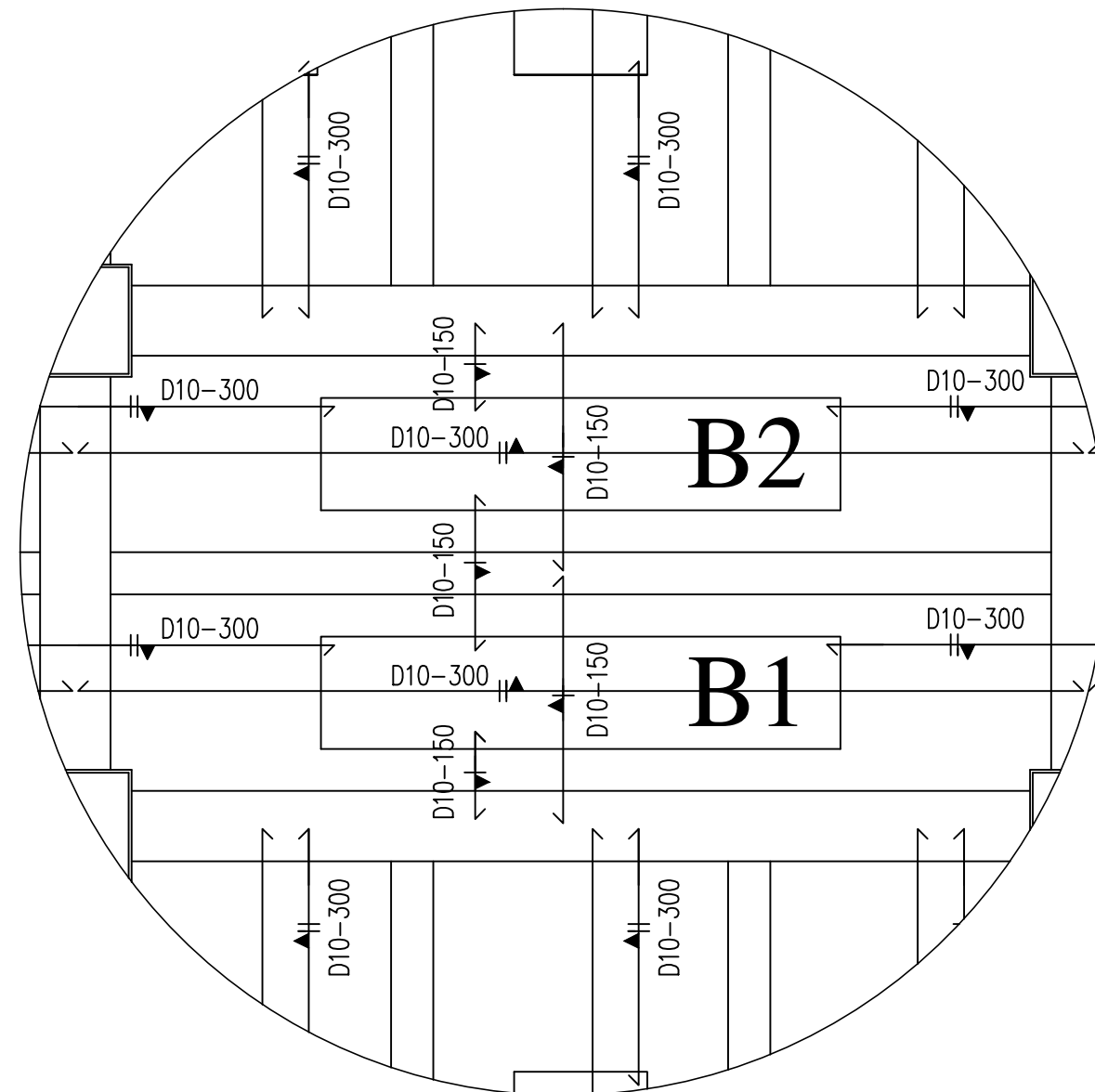
KEYPLAN PENULANGAN PELAT TIPE A
1:400



DETAIL PENULANGAN PELAT TIPE A
1:50



1:400 KEYPLAN PENULANGAN PELAT TIPE B



1:50 DETAIL PENULANGAN PELAT TIPE B



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

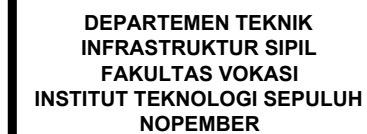
JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
PELAT TIPE B
SETELAH KOMPOSIT

SKALA

1 : 50

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	34	93



MODIFIKASI PERENCANAAN GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA SURABAYA DENGAN METODE BETON PRACETAK (*PRECAST*)

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

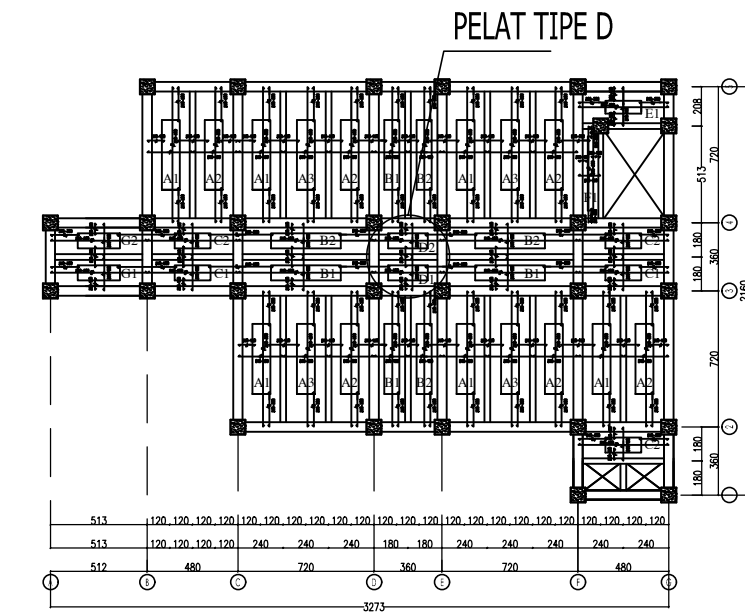
**GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)**

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

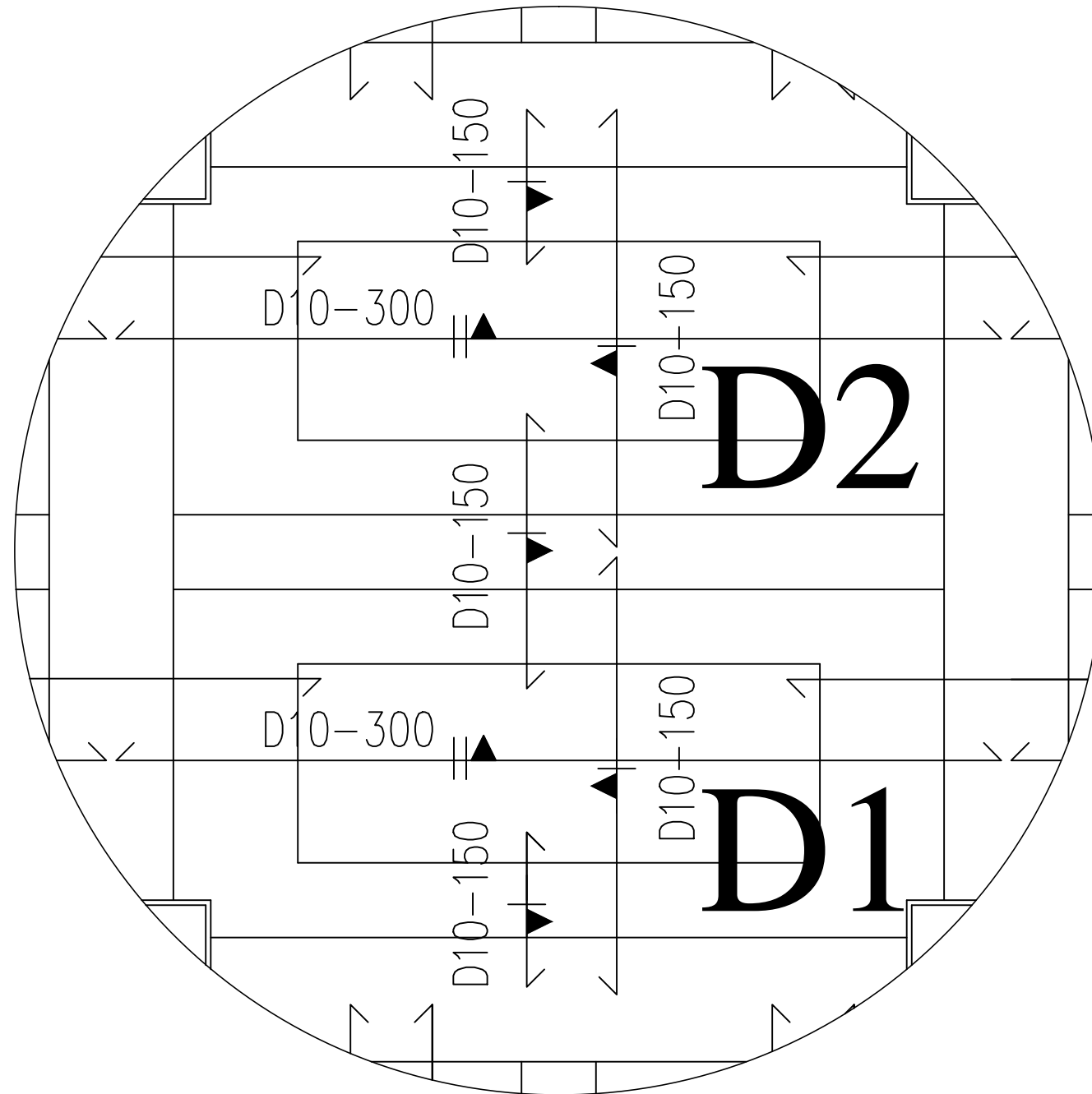
JUDUL GAMBAR	SKALA
DETAIL PENULANGAN PELAT TYPE C SETELAH KOMPOSIT	1 : 25

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	35	93





1:400 KEYPLAN PENULANGAN PELAT TIPE D



1:25 DETAIL PENULANGAN PELAT TIPE D



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

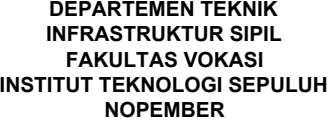
GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR		SKALA
DETAIL PENULANGAN PELAT TIPE D SETELAH KOMPOSIT		1 : 25
KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	36	93



MODIFIKASI PERENCANAAN GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA SURABAYA DENGAN METODE BETON PRACETAK (*PRECAST*)

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

**GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)**

- **Zona Gempa** : Kota Surabaya
- **Jenis Tanah** : Lunak
- **Mutu Baja** : 400 MPa
- **Mutu Beton** : 35 MPa

JUDUL GAMBAR	SKALA
DETAIL PENULANGAN PELAT TIPE E SETELAH KOMPOSIT	1 : 50

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	37	93





DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
PELAT TIPE F
SETELAH KOMPOSIT

SKALA

1 : 50

KODE GBR

NO GBR

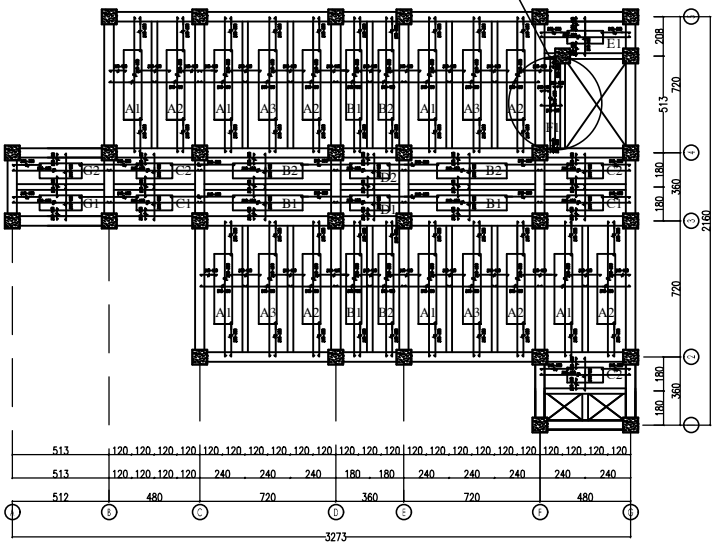
JML GBR

STR

38

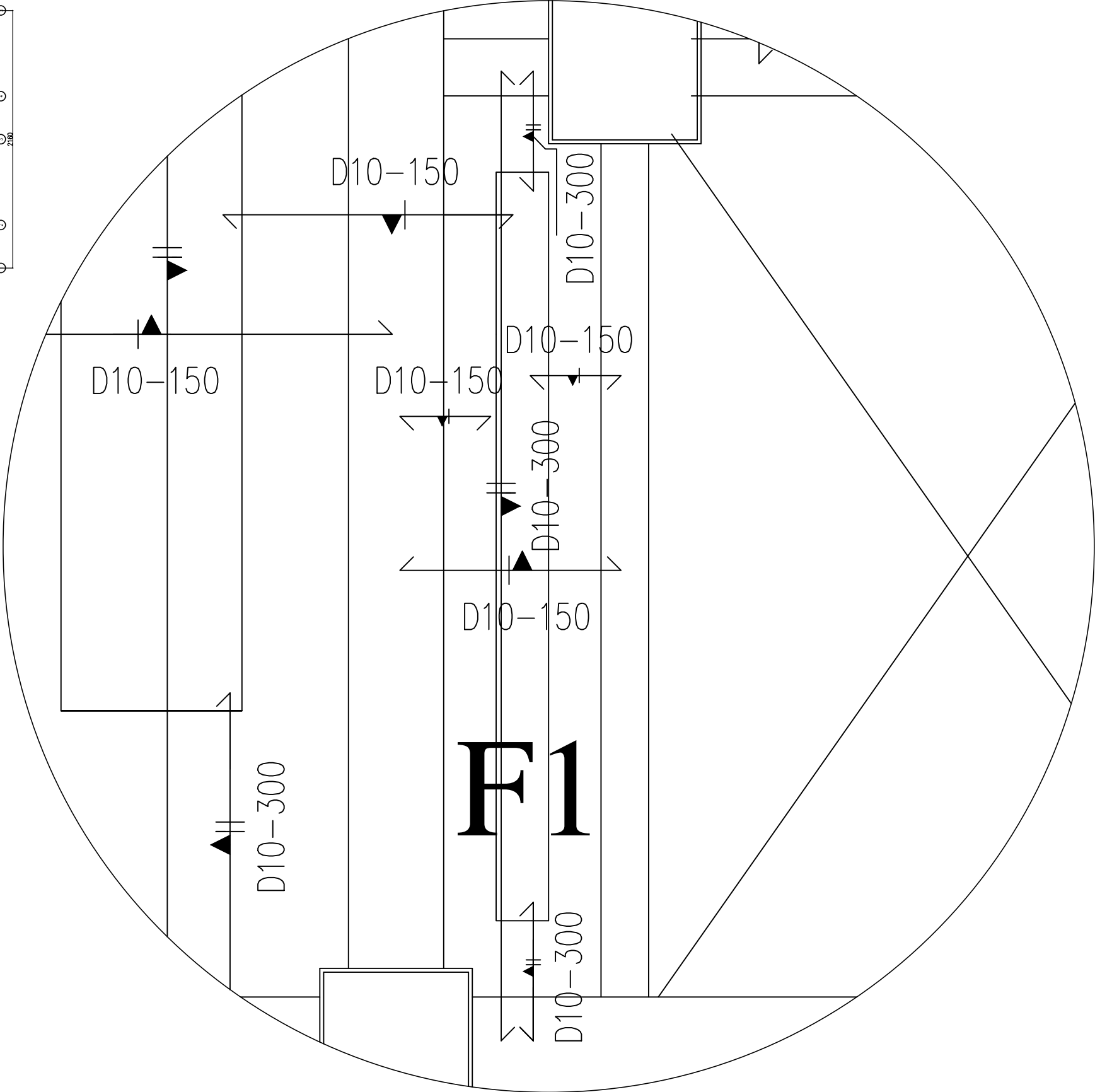
93

PELAT TIPE F



KEYPLAN PENULANGAN PELAT TIPE F

1:400



DETAIL PENULANGAN PELAT TIPE F

1:50





DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
BALOK ANAK TIPE BA1

SKALA

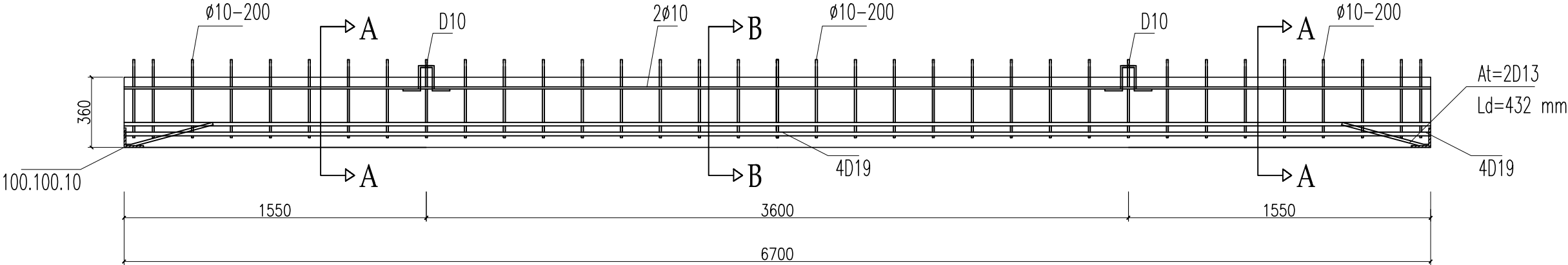
1 : 25

KODE GBR NO GBR JML GBR

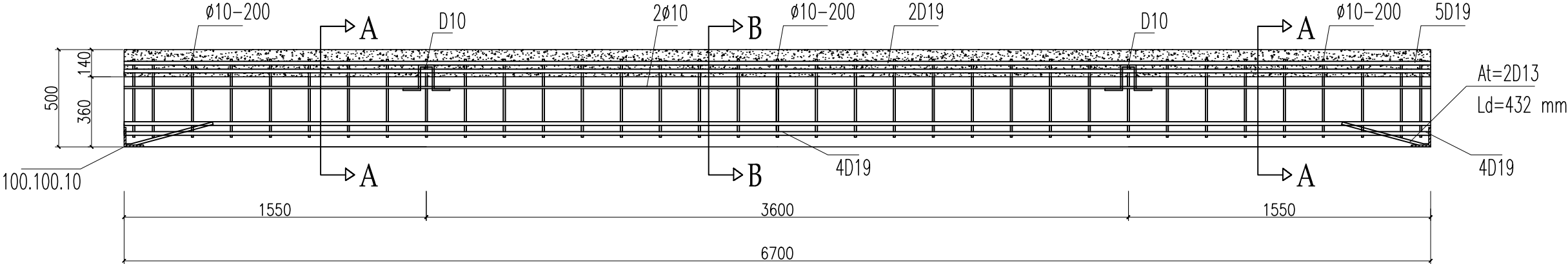
STR

40

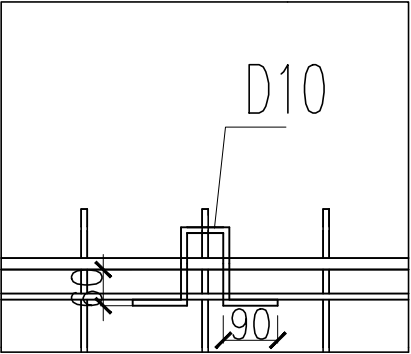
93



1:25 PENULANGAN SEBELUM KOMPOSIT BALOK ANAK TIPE BA1



1:25 PENULANGAN SETELAH KOMPOSIT BALOK ANAK TIPE BA1



1:12,5 KEDALAMAN TUL. ANGKUR



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

DETAIL POTONGAN
PENULANGAN
BALOK ANAK TIPE BA1

1 : 15

KODE GBR

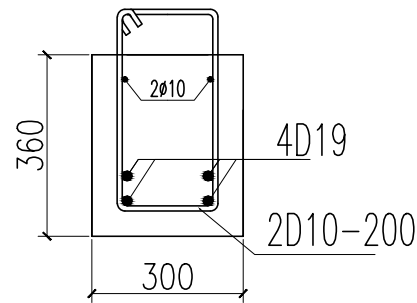
NO GBR

JML GBR

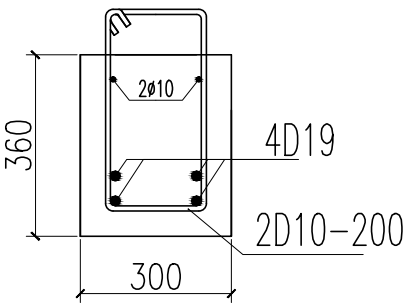
STR

41

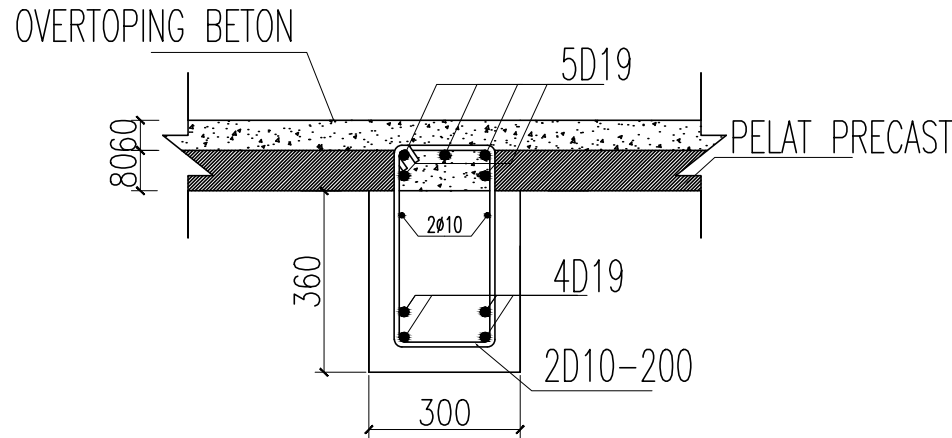
93



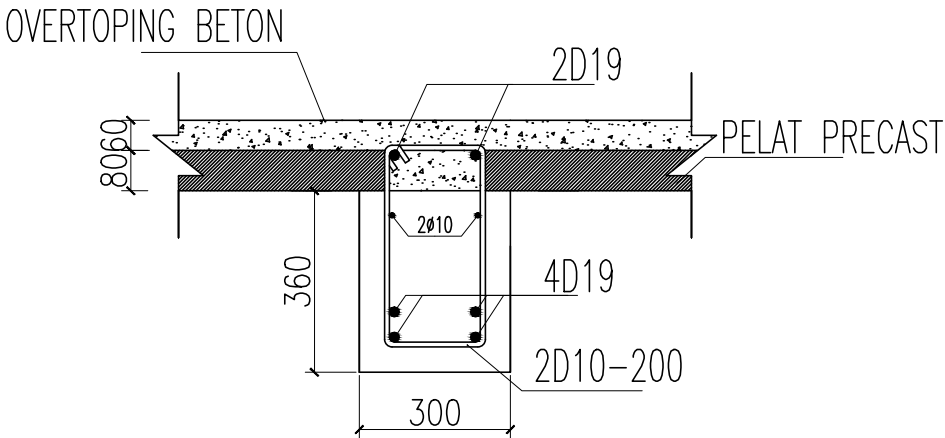
POTONGAN A - A SEBELUM KOMPOSIT



POTONGAN B - B SEBELUM KOMPOSIT



POTONGAN A - A SETELAH KOMPOSIT



POTONGAN B - B SETELAH KOMPOSIT

TABEL BALOK ANAK PRECAST

TIPE BALOK INDUK	ts(mm)	Ln(mm)	b(mm)	h(mm)	BERAT (TON)	JUMLAH
BA1	50	6700	300	360	1,71	112
BA2	50	4300	300	360	1,10	16
BA3	50	3100	300	360	0,79	8
BA4	50	4625	300	360	1,18	16
BA5	50	550	300	360	0,14	8



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
BALOK ANAK TIPE BA2

SKALA

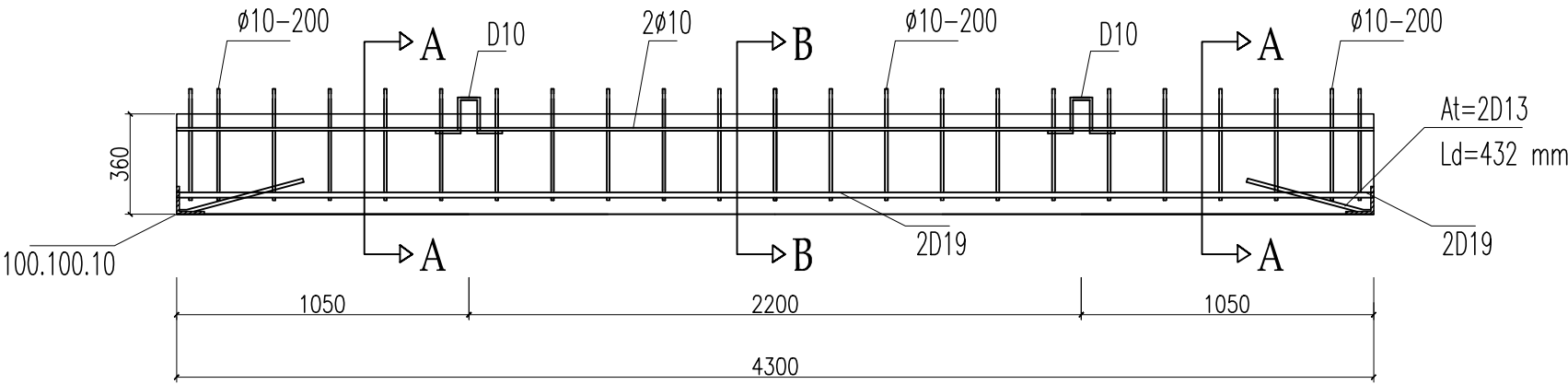
1 : 25

KODE GBR NO GBR JML GBR

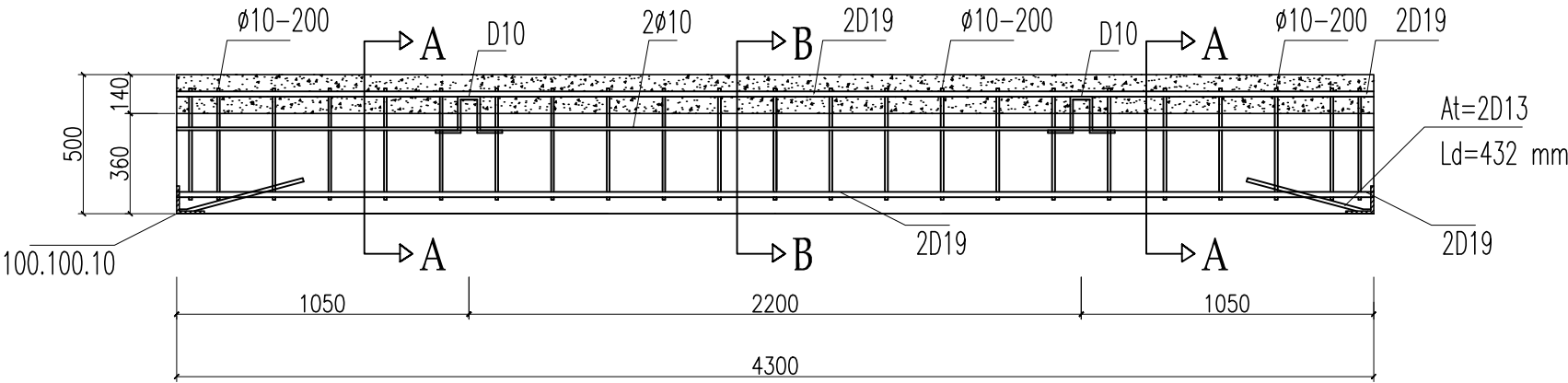
STR

42

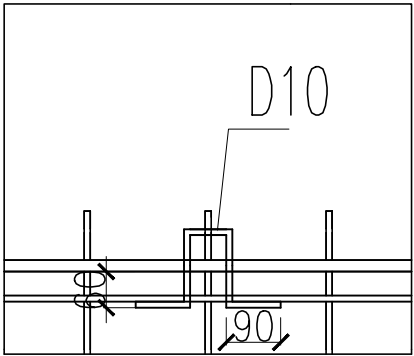
93



1:25 PENULANGAN SEBELUM KOMPOSIT BALOK ANAK TIPE BA2



1:25 PENULANGAN SETELAH KOMPOSIT BALOK ANAK TIPE BA2



1:12,5 KEDALAMAN TUL. ANGKUR



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

DETAIL POTONGAN
PENULANGAN
BALOK ANAK TIPE BA2

1 : 15

KODE GBR

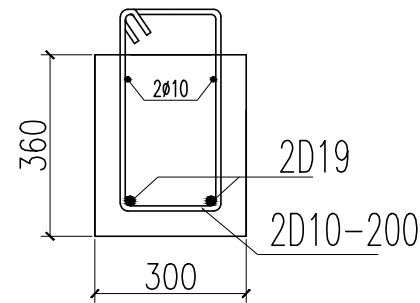
NO GBR

JML GBR

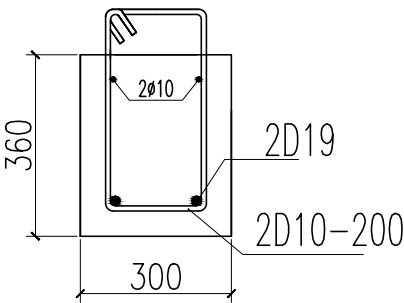
STR

43

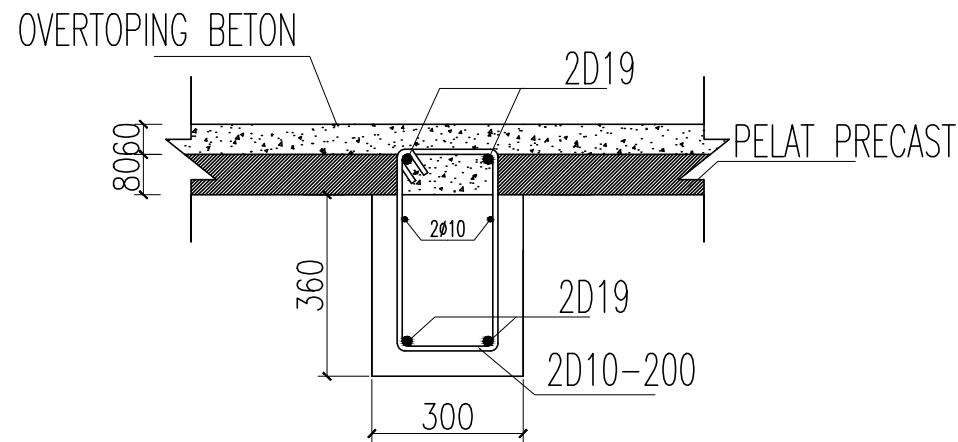
93



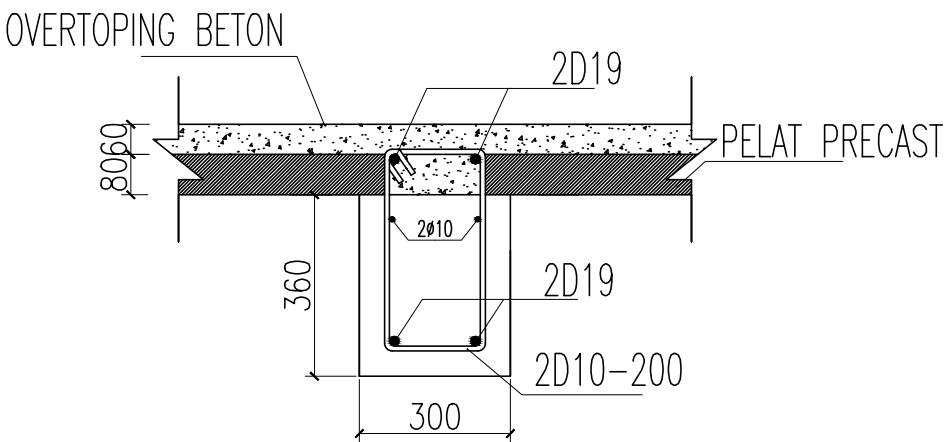
1:15 POTONGAN A - A SEBELUM KOMPOSIT



1:15 POTONGAN B - B SEBELUM KOMPOSIT



1:15 POTONGAN A - A SETELAH KOMPOSIT



1:15 POTONGAN B - B SETELAH KOMPOSIT

TABEL BALOK ANAK PRECAST

TIPE BALOK INDUK	ts(mm)	Ln(mm)	b(mm)	h(mm)	BERAT (TON)	JUMLAH
BA1	50	6700	300	360	1,71	112
BA2	50	4300	300	360	1,10	16
BA3	50	3100	300	360	0,79	8
BA4	50	4625	300	360	1,18	16
BA5	50	550	300	360	0,14	8



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 1011141000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
BALOK ANAK TIPE BA3

SKALA

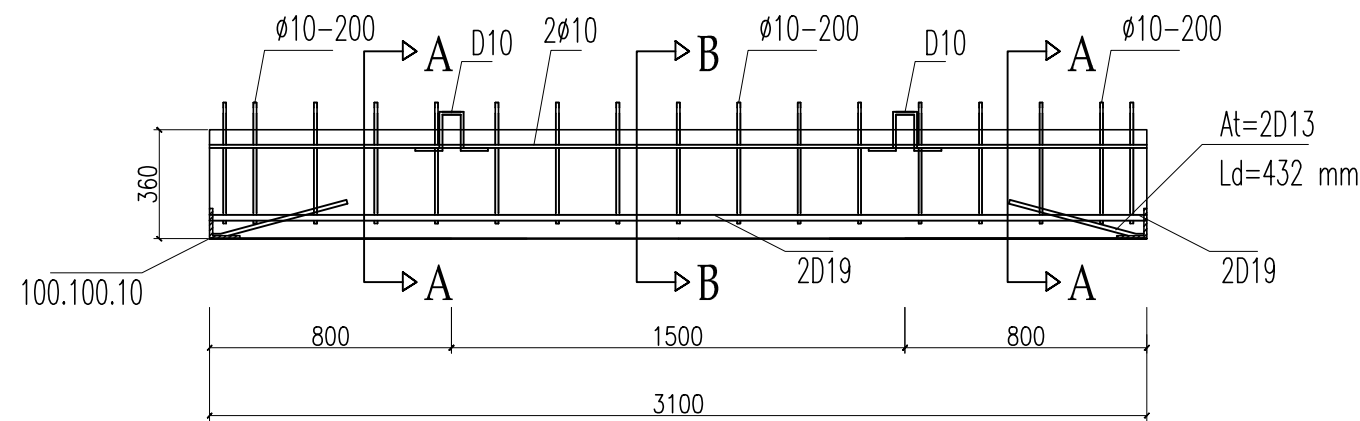
1 : 25

KODE GBR NO GBR JML GBR

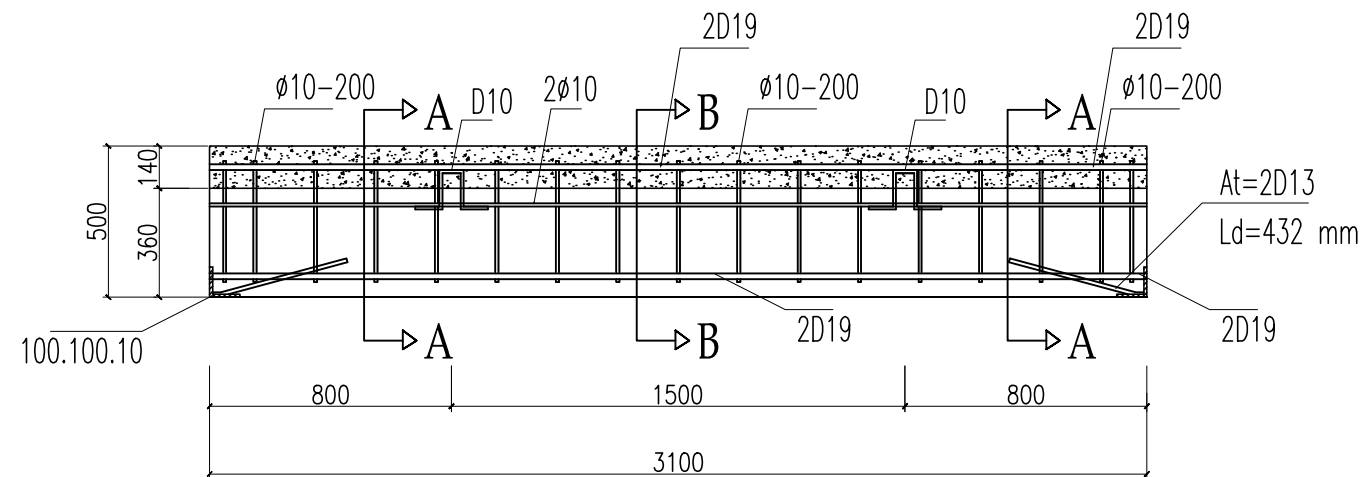
STR

44

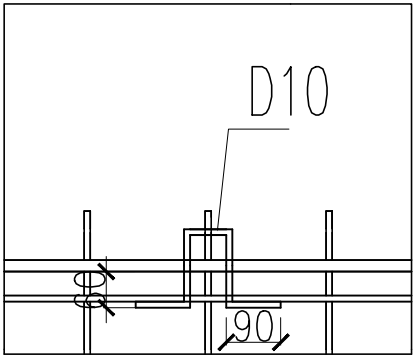
93



PENULANGAN SEBELUM KOMPOSIT BALOK ANAK TIPE BA3
1:25



PENULANGAN SETELAH KOMPOSIT BALOK ANAK TIPE BA3
1:25



KEDALAMAN TUL. ANGKUR
1:12,5



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

DETAIL POTONGAN
PENULANGAN
BALOK ANAK TIPE BA3

1 : 15

KODE GBR

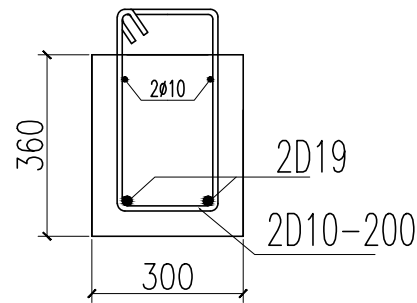
NO GBR

JML GBR

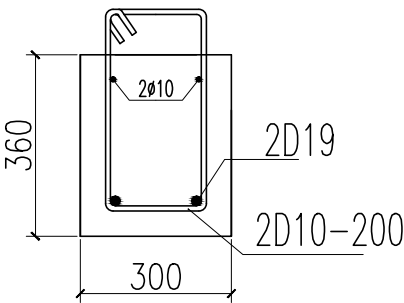
STR

45

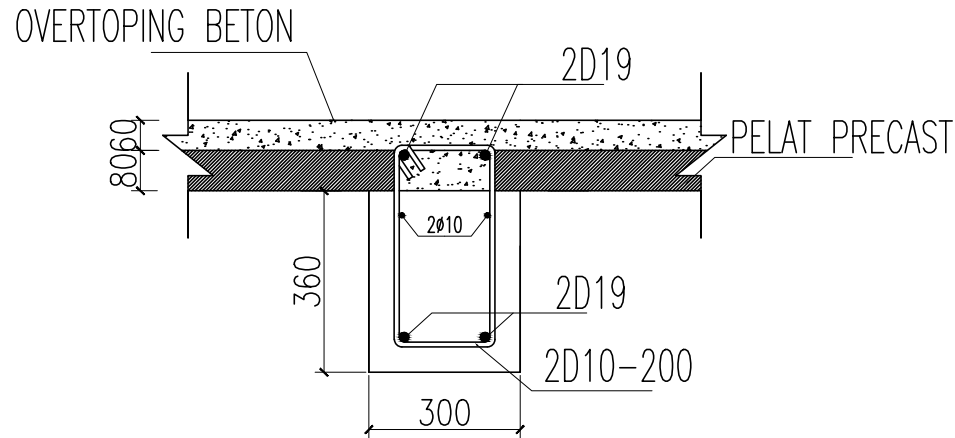
93



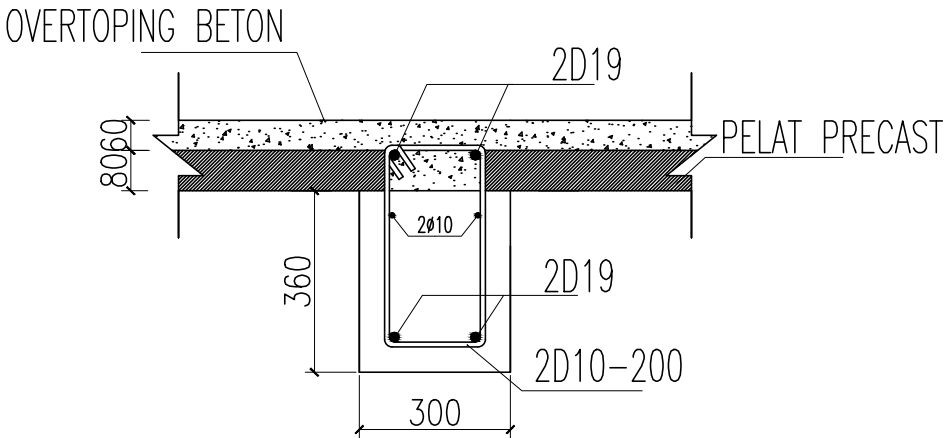
1:15 POTONGAN A - A SEBELUM KOMPOSIT



1:15 POTONGAN B - B SEBELUM KOMPOSIT



1:15 POTONGAN A - A SETELAH KOMPOSIT



1:15 POTONGAN B - B SETELAH KOMPOSIT

TABEL BALOK ANAK PRECAST

TIPE BALOK INDUK	ts(mm)	Ln(mm)	b(mm)	h(mm)	BERAT (TON)	JUMLAH
BA1	50	6700	300	360	1,71	112
BA2	50	4300	300	360	1,10	16
BA3	50	3100	300	360	0,79	8
BA4	50	4625	300	360	1,18	16
BA5	50	550	300	360	0,14	8



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
BALOK ANAK TIPE BA4

SKALA

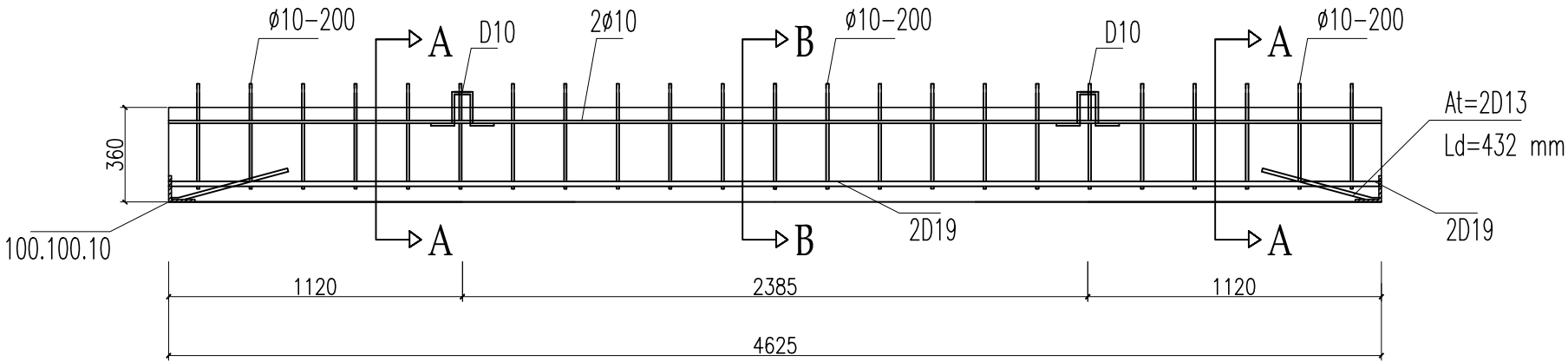
1 : 25

KODE GBR NO GBR JML GBR

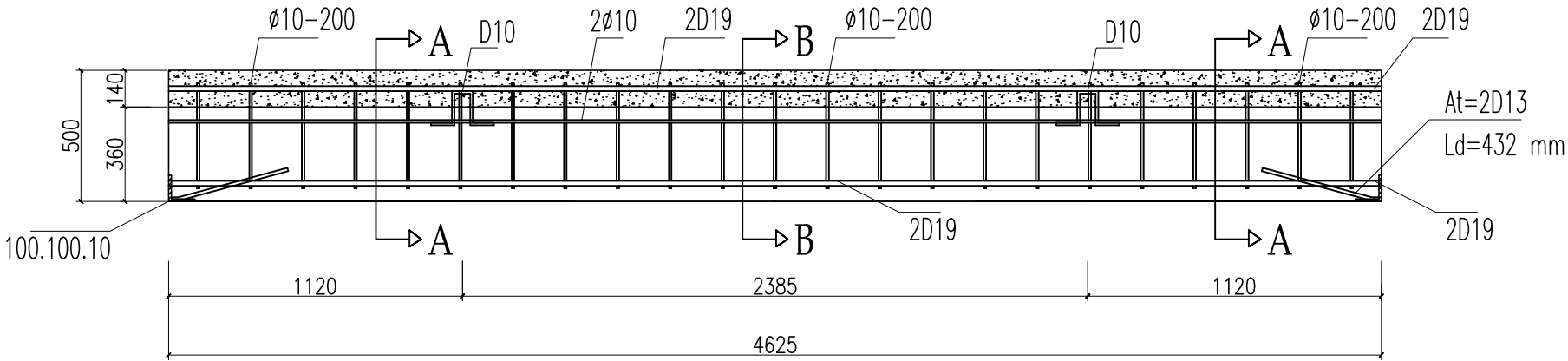
STR

46

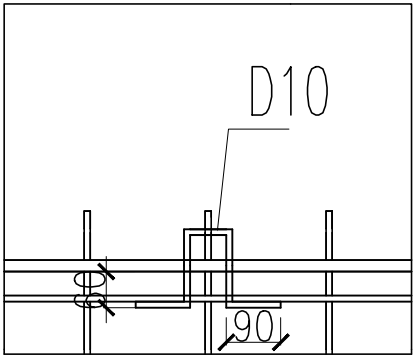
93



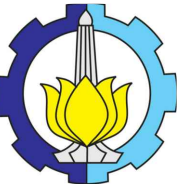
1:25 PENULANGAN SEBELUM KOMPOSIT BALOK ANAK TIPE BA4



1:25 PENULANGAN SETELAH KOMPOSIT BALOK ANAK TIPE BA4



1:12.5 KEDALAMAN TUL. ANGKUR



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

DETAIL POTONGAN
PENULANGAN
BALOK ANAK TIPE BA4

1 : 15

KODE GBR

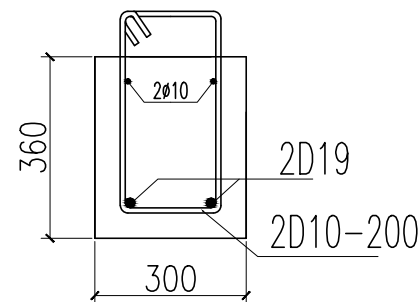
NO GBR

JML GBR

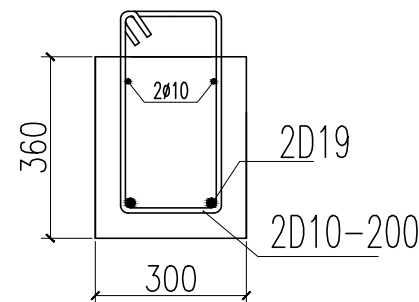
STR

47

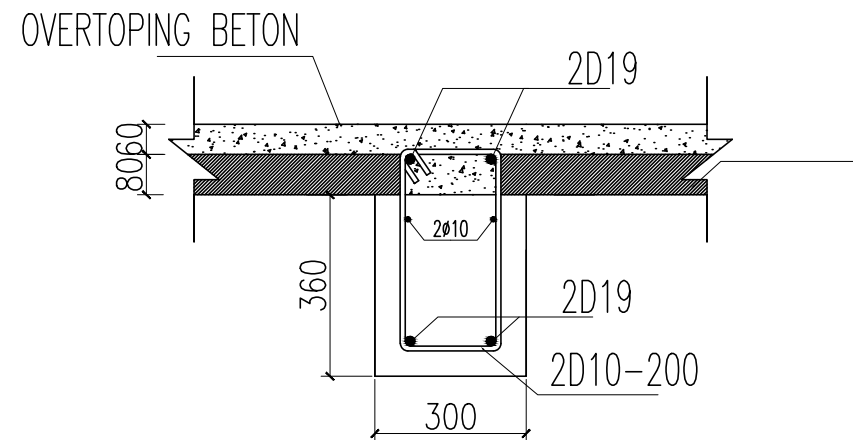
93



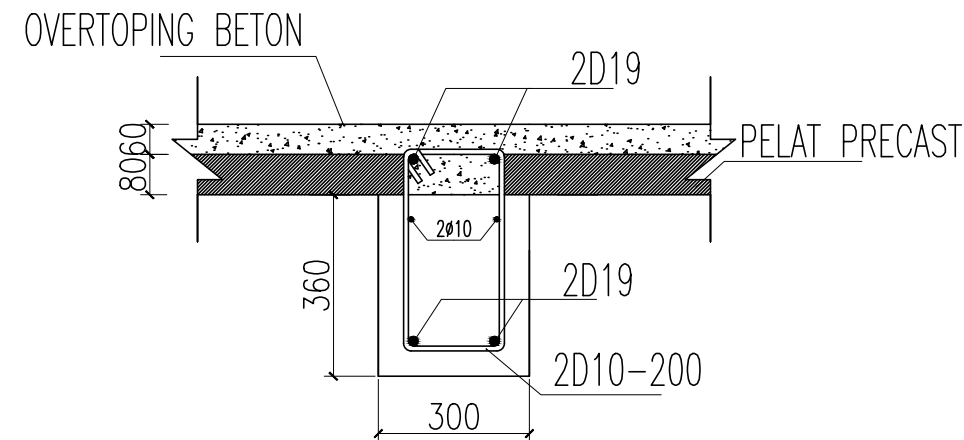
1:15 POTONGAN A - A SEBELUM KOMPOSIT



1:15 POTONGAN B - B SEBELUM KOMPOSIT



1:15 POTONGAN A - A SETELAH KOMPOSIT



1:15 POTONGAN B - B SETELAH KOMPOSIT

TABEL BALOK ANAK PRECAST

TIPE BALOK INDUK	ts(mm)	Ln(mm)	b(mm)	h(mm)	BERAT (TON)	JUMLAH
BA1	50	6700	300	360	1,71	112
BA2	50	4300	300	360	1,10	16
BA3	50	3100	300	360	0,79	8
BA4	50	4625	300	360	1,18	16
BA5	50	550	300	360	0,14	8



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
BALOK ANAK TIPE BA5

SKALA

1 : 20

KODE GBR

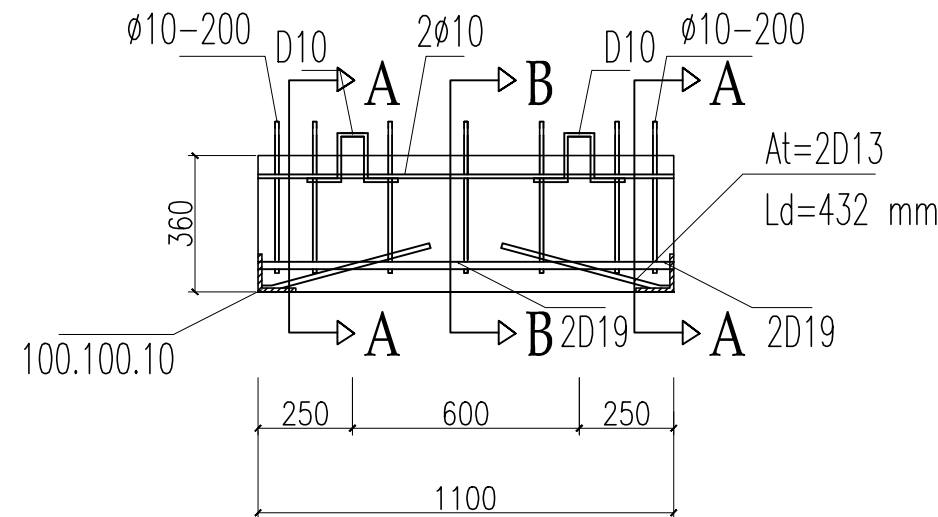
STR

NO GBR

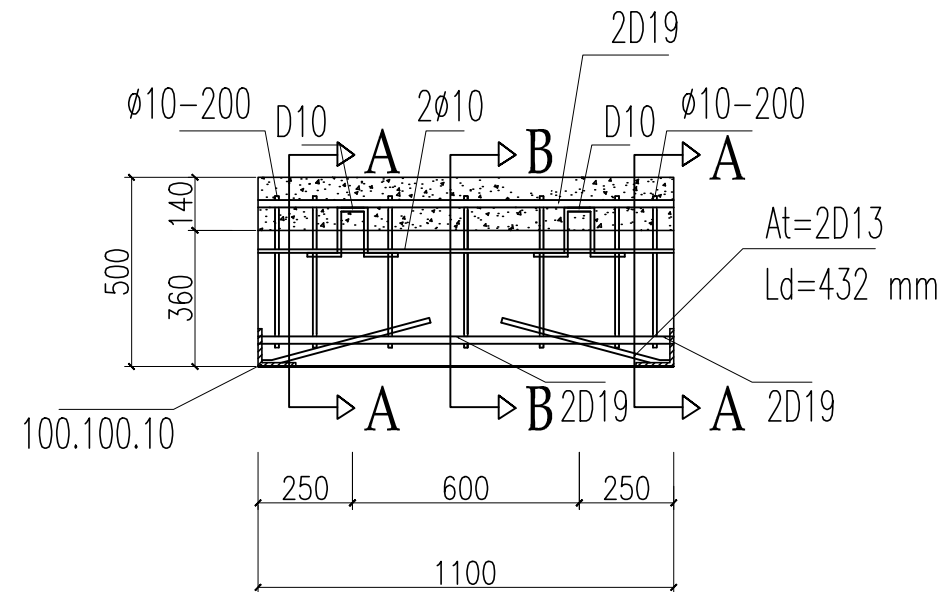
48

JML GBR

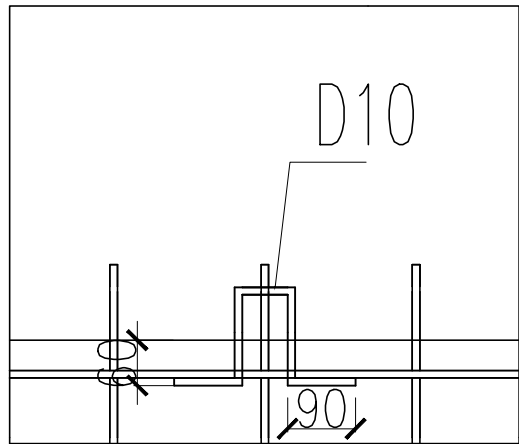
93



1:25 PENULANGAN SEBELUM KOMPOSIT BALOK ANAK TIPE BA5



1:25 PENULANGAN SETELAH KOMPOSIT BALOK ANAK TIPE BA5



1:12,5 KEDALAMAN TUL. ANGKUR



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

DETAIL POTONGAN
PENULANGAN
BALOK ANAK TIPE BA5

1 : 15

KODE GBR

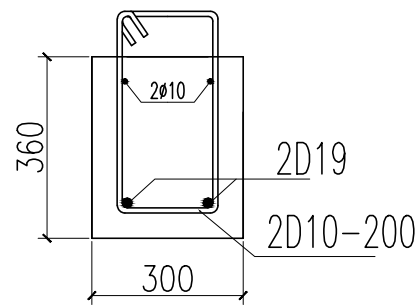
NO GBR

JML GBR

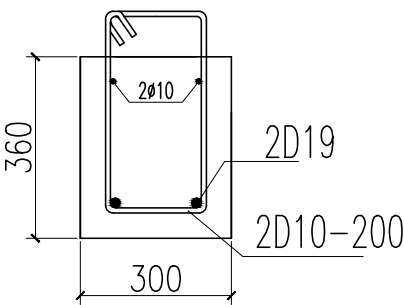
STR

49

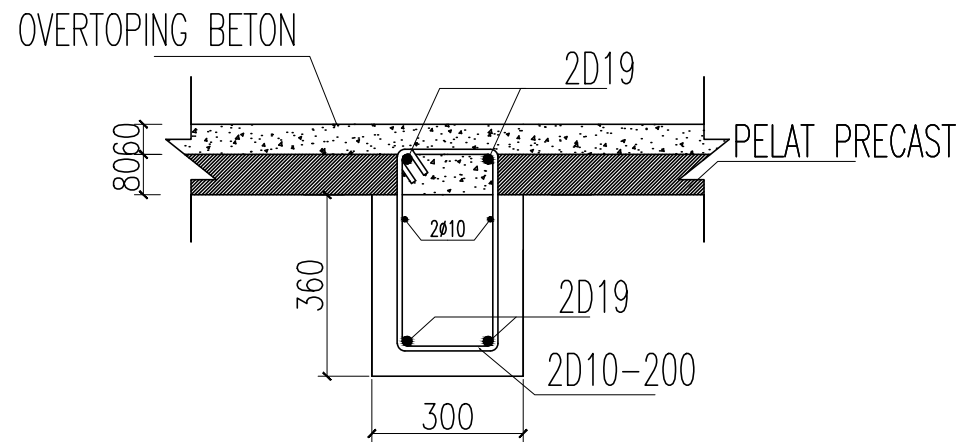
93



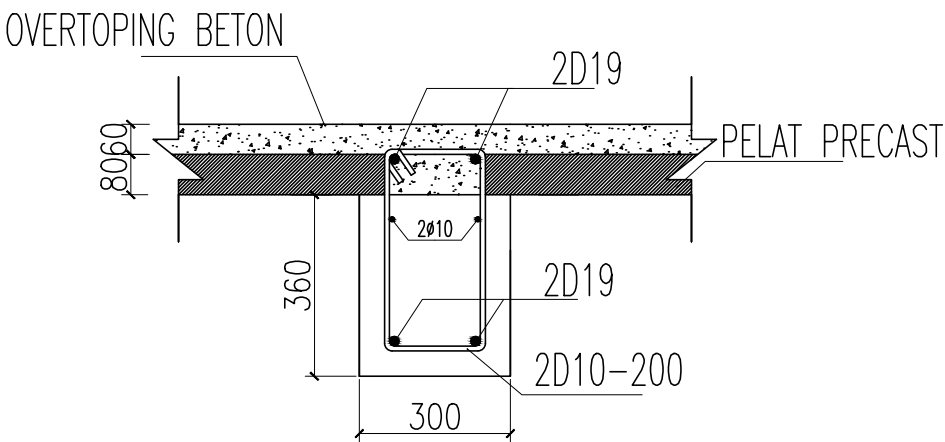
1:15 POTONGAN A - A SEBELUM KOMPOSIT



1:15 POTONGAN B - B SEBELUM KOMPOSIT



1:15 POTONGAN A - A SETELAH KOMPOSIT



1:15 POTONGAN B - B SETELAH KOMPOSIT

TABEL BALOK ANAK PRECAST

TIPE BALOK INDUK	ts(mm)	Ln(mm)	b(mm)	h(mm)	BERAT (TON)	JUMLAH
BA1	50	6700	300	360	1,71	112
BA2	50	4300	300	360	1,10	16
BA3	50	3100	300	360	0,79	8
BA4	50	4625	300	360	1,18	16
BA5	50	550	300	360	0,14	8



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
BALOK INDUK TIPE B1

SKALA

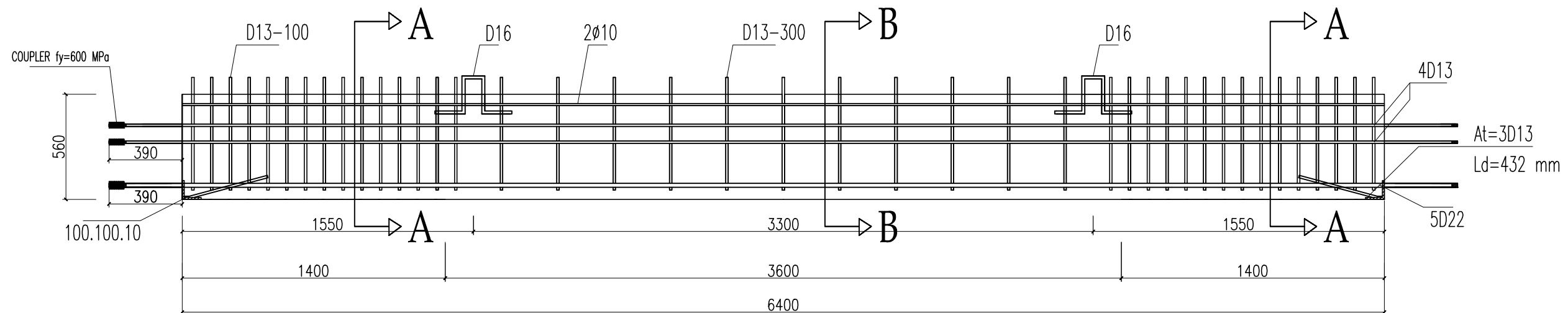
1 : 25

KODE GBR NO GBR JML GBR

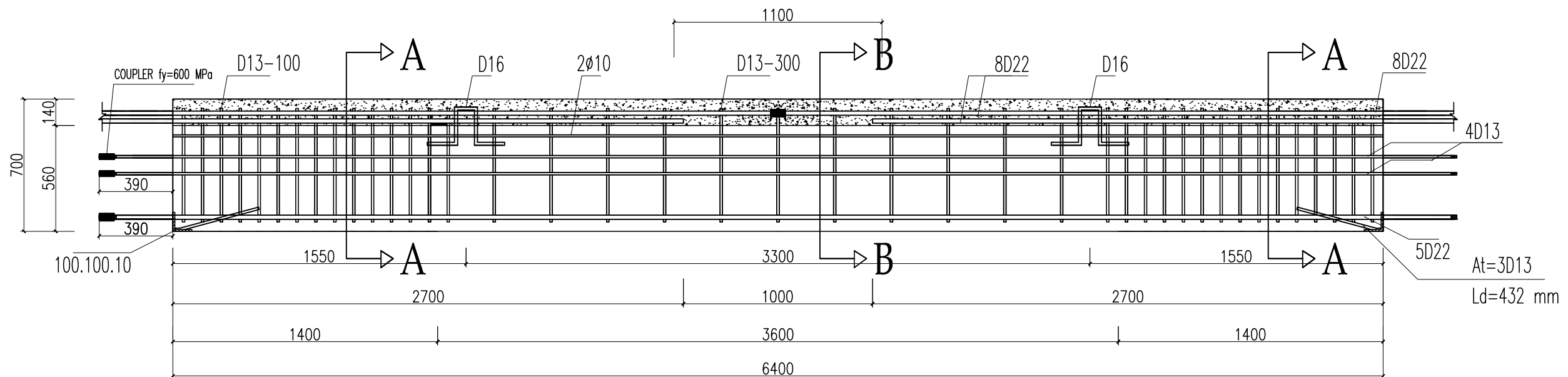
STR

50

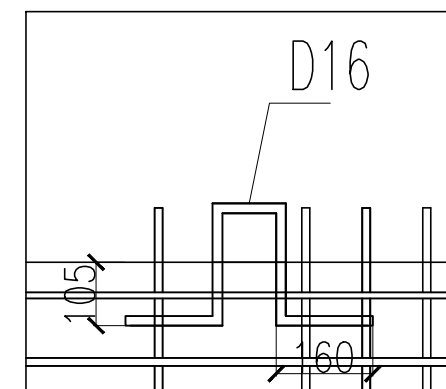
93



1:25 PENULANGAN SEBELUM KOMPOSIT BALOK INDUK TIPE B1



1:25 PENULANGAN SETELAH KOMPOSIT BALOK INDUK TIPE B1



1:12,5 KEDALAMAN TUL. ANGKUR



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

DETAIL POTONGAN
PENULANGAN
BALOK INDUK TIPE B1

SKALA

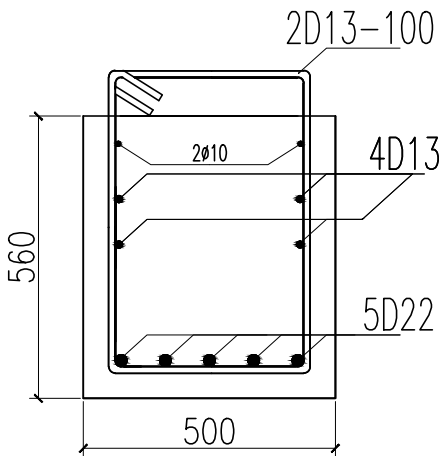
1 : 15

KODE GBR NO GBR JML GBR

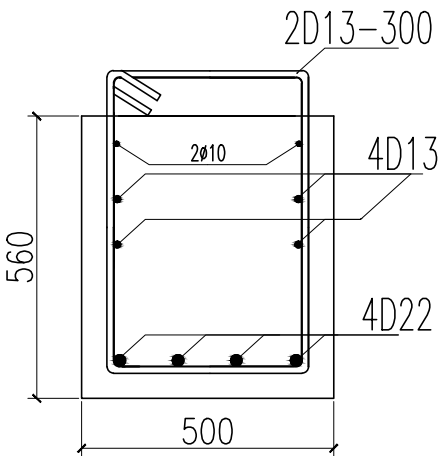
STR

51

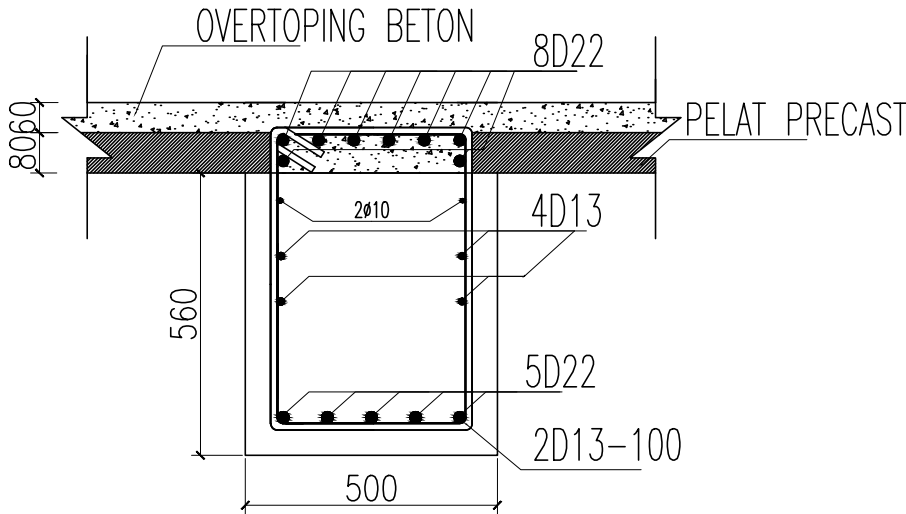
93



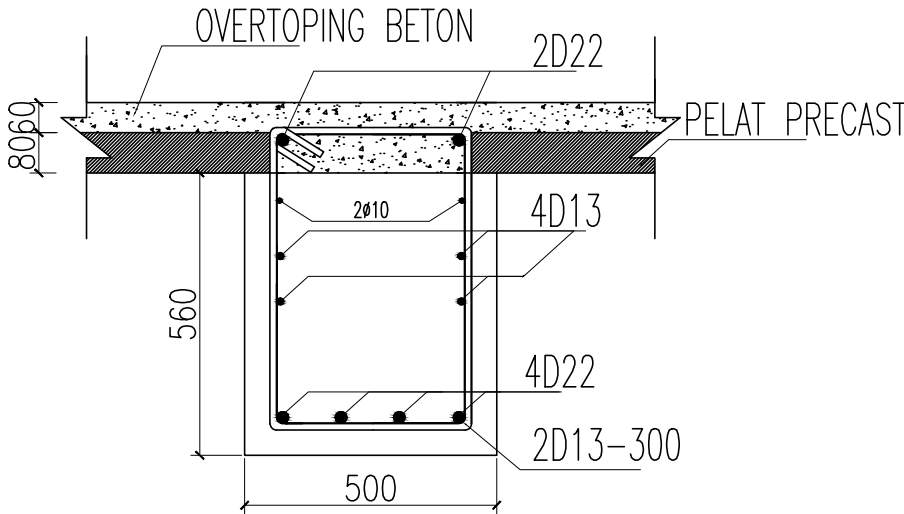
1:15 POTONGAN A - A SEBELUM KOMPOSIT



1:15 POTONGAN B - B SEBELUM KOMPOSIT



1:15 POTONGAN A - A SETELAH KOMPOSIT



1:15 POTONGAN B - B SETELAH KOMPOSIT

TABEL BALOK INDUK PRECAST

TIPE BALOK INDUK	ts(mm)	Ln(mm)	b(mm)	h(mm)	BERAT (TON)	JUMLAH
B1	50	6400	500	560	4,23	144
B2	50	4000	500	560	2,64	64
B3	50	2800	500	560	1,85	96
B4	50	4325	500	560	2,86	24
B5	50	1275	500	560	0,84	8



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
BALOK INDUK TIPE B2

SKALA

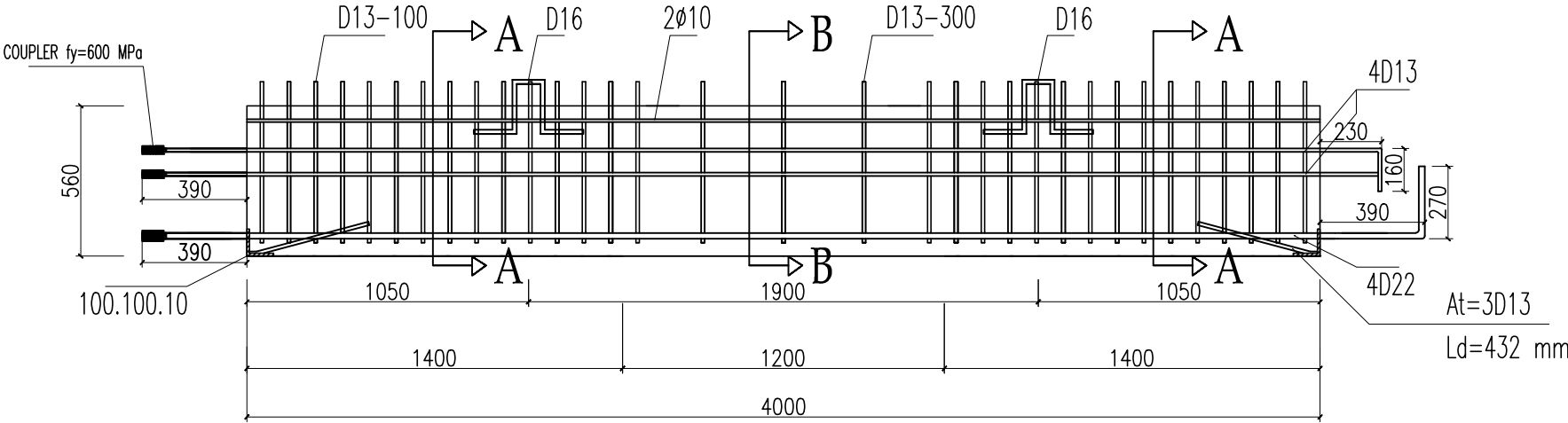
1 : 25

KODE GBR NO GBR JML GBR

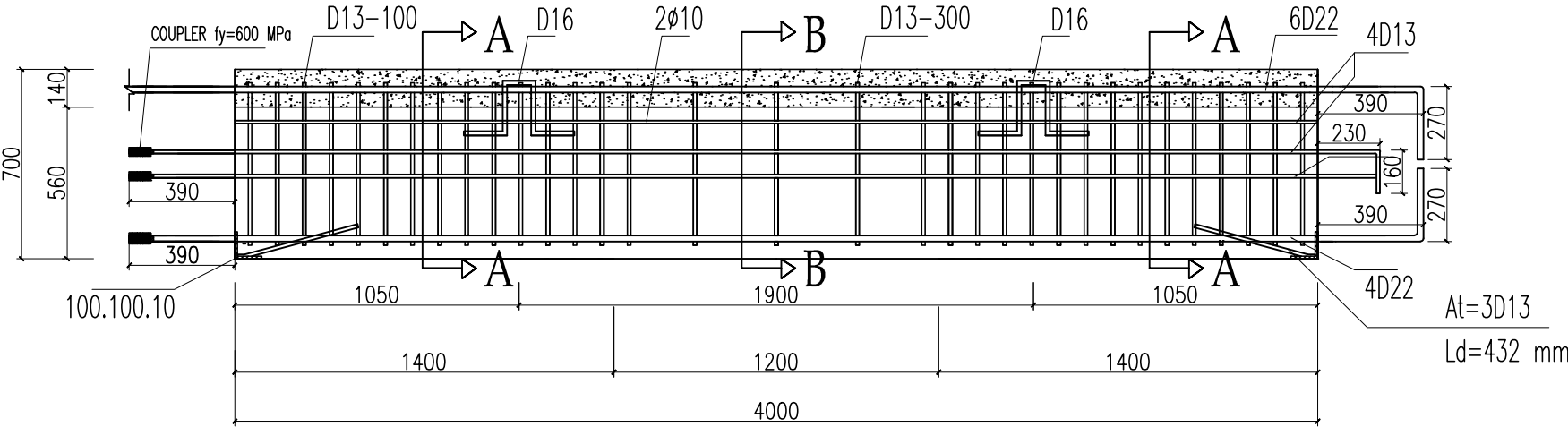
STR

52

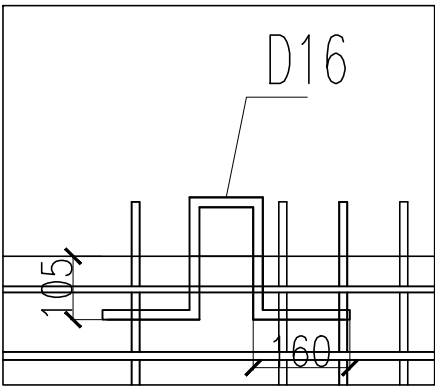
93



PENULANGAN SEBELUM KOMPOSIT BALOK INDUK TIPE B2
1:25



PENULANGAN SETELAH KOMPOSIT BALOK INDUK TIPE B2
1:25



KEDALAMAN TUL. ANGKUR
1:12,5



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

DETAIL POTONGAN
PENULANGAN
BALOK INDUK TIPE B2

SKALA

1 : 15

KODE GBR

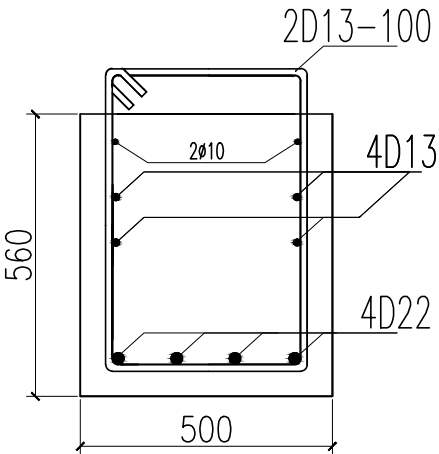
NO GBR

JML GBR

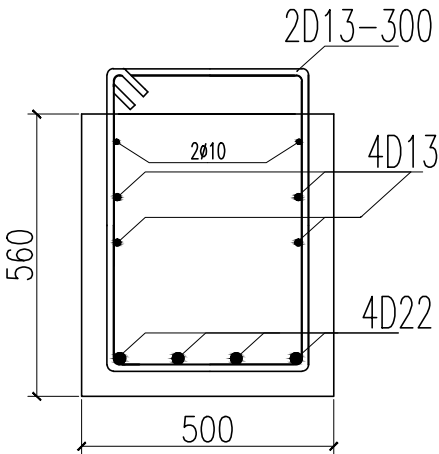
STR

53

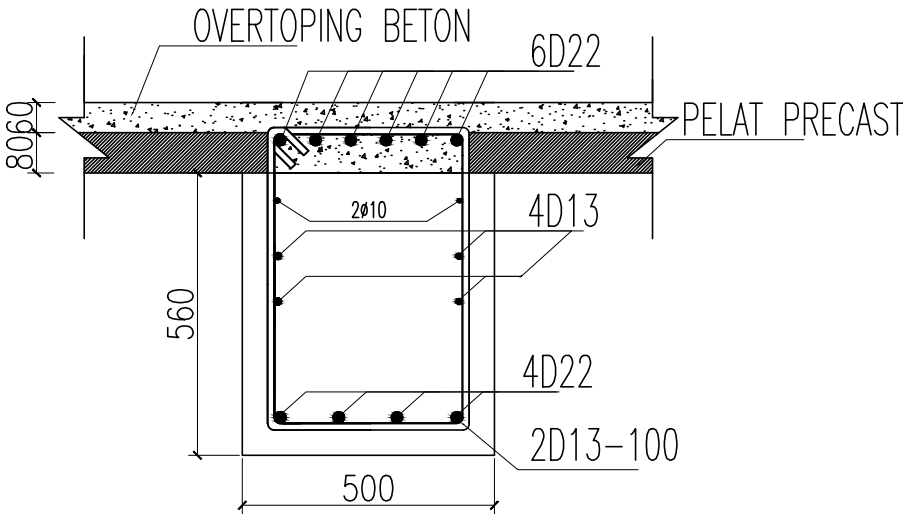
93



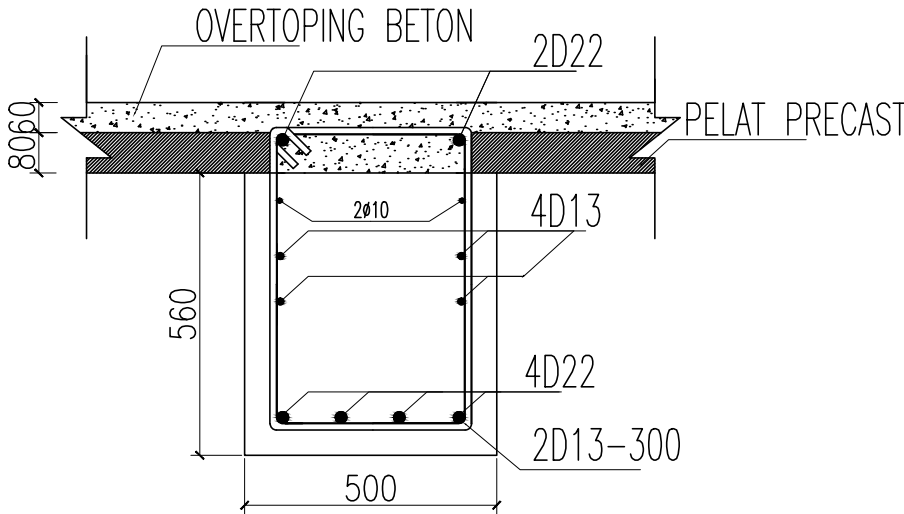
1:15 POTONGAN A - A SEBELUM KOMPOSIT



1:15 POTONGAN B - B SEBELUM KOMPOSIT



1:15 POTONGAN A - A SETELAH KOMPOSIT



1:15 POTONGAN B - B SETELAH KOMPOSIT

TABEL BALOK INDUK PRECAST

TIPE BALOK INDUK	ts(mm)	Ln(mm)	b(mm)	h(mm)	BERAT (TON)	JUMLAH
B1	50	6400	500	560	4,23	144
B2	50	4000	500	560	2,64	64
B3	50	2800	500	560	1,85	96
B4	50	4325	500	560	2,86	24
B5	50	1275	500	560	0,84	8



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

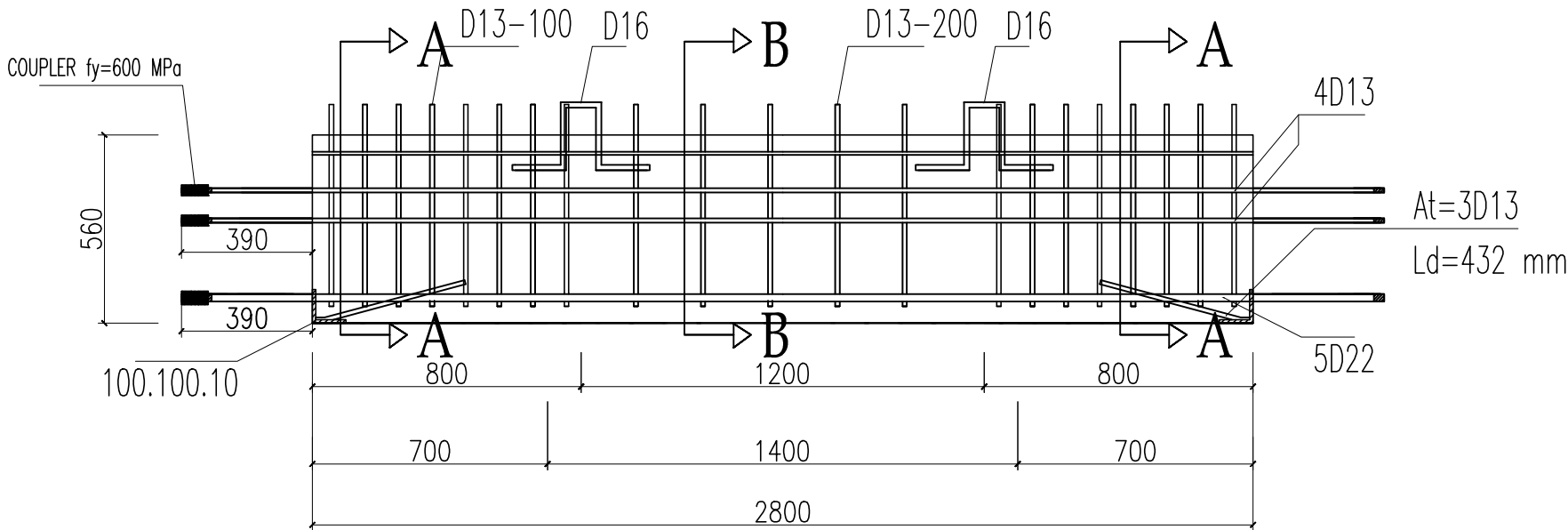
DETAIL PENULANGAN
BALOK INDUK TIPE B3

SKALA

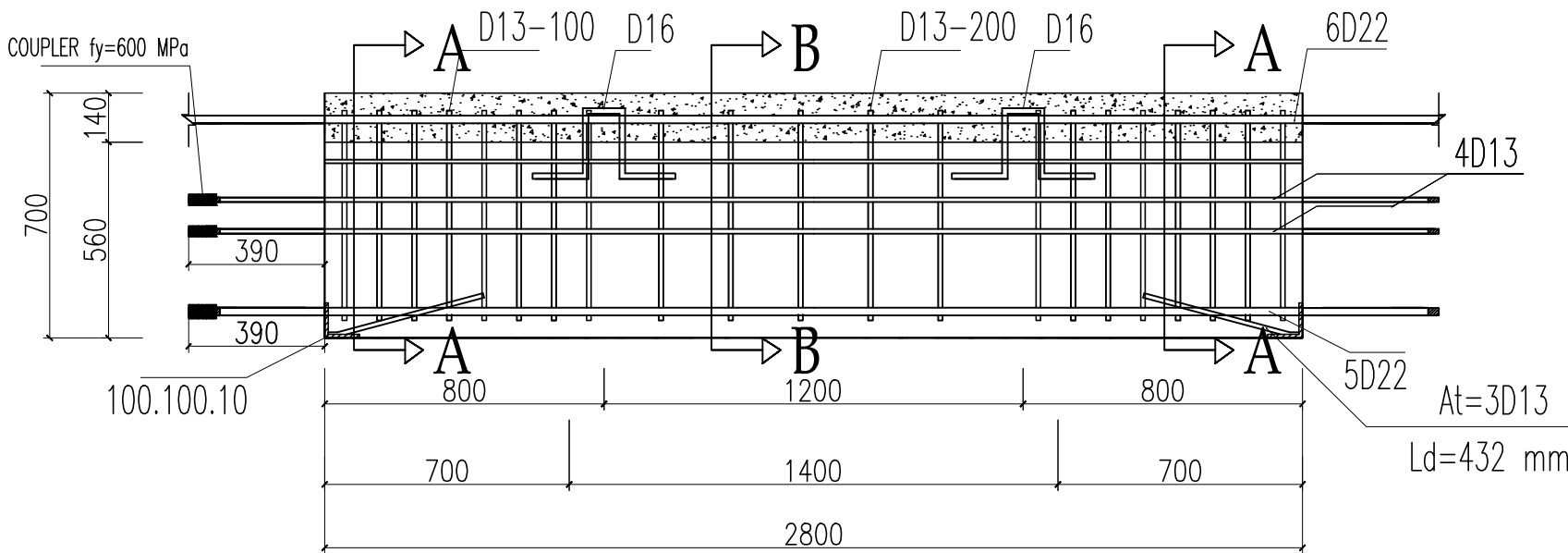
1 : 20

KODE GBR NO GBR JML GBR

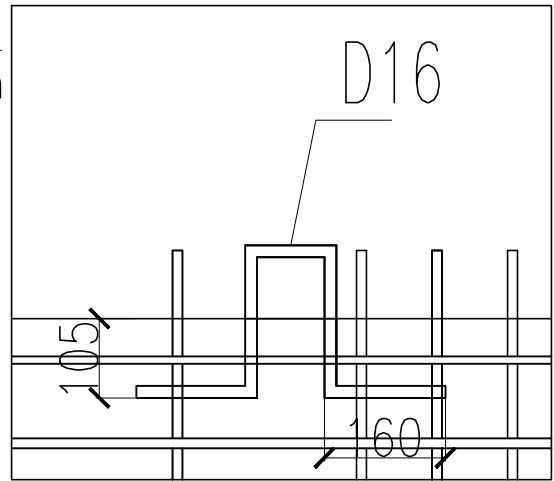
STR 54 93



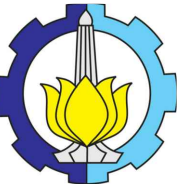
1:20 PENULANGAN SEBELUM KOMPOSIT BALOK INDUK TIPE B3



1:20 PENULANGAN SEBELUM KOMPOSIT BALOK INDUK TIPE B3



1:10 KEDALAMAN TUL. ANGKUR



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

DETAIL POTONGAN
PENULANGAN
BALOK INDUK TIPE B3

SKALA

1 : 15

KODE GBR

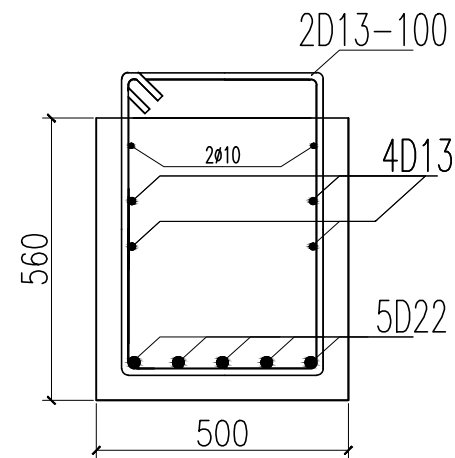
NO GBR

JML GBR

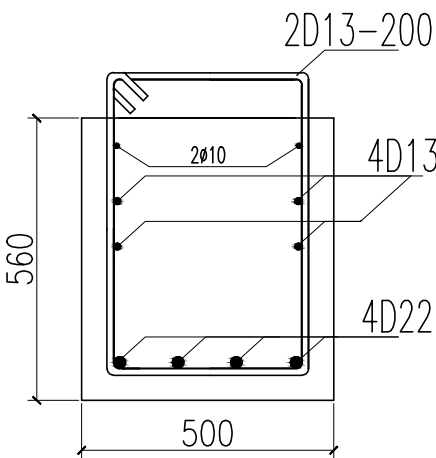
STR

55

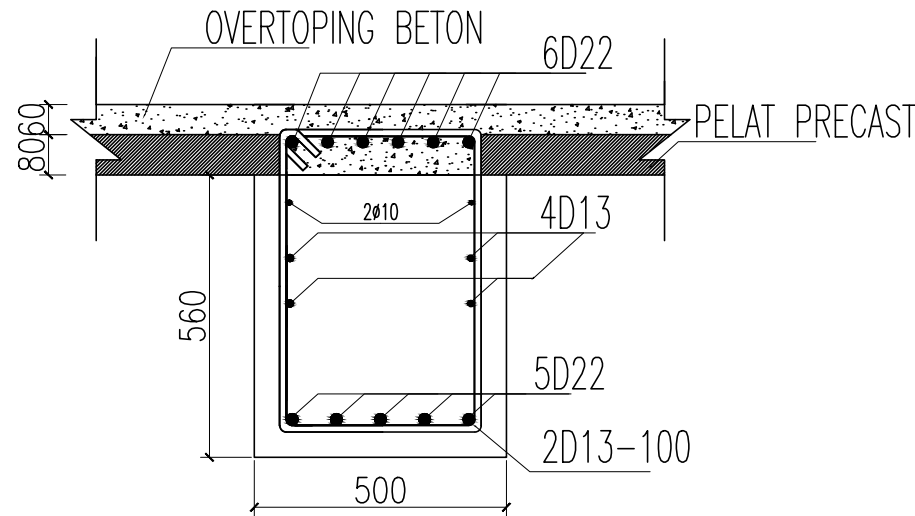
93



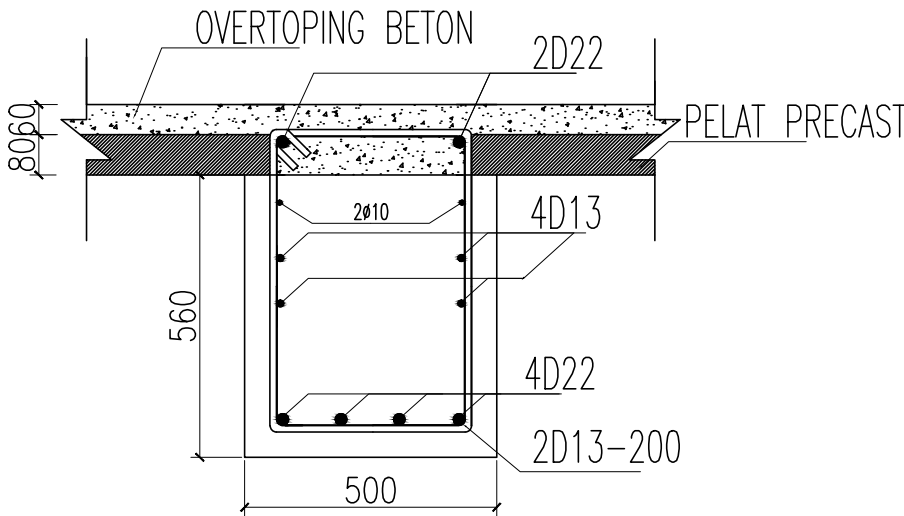
1:15 POTONGAN A - A SEBELUM KOMPOSIT



1:15 POTONGAN B - B SEBELUM KOMPOSIT



1:15 POTONGAN A - A SETELAH KOMPOSIT



1:15 POTONGAN B - B SETELAH KOMPOSIT

TABEL BALOK INDUK PRECAST

TIPE BALOK INDUK	ts(mm)	Ln(mm)	b(mm)	h(mm)	BERAT (TON)	JUMLAH
B1	50	6400	500	560	4,23	144
B2	50	4000	500	560	2,64	64
B3	50	2800	500	560	1,85	96
B4	50	4325	500	560	2,86	24
B5	50	1275	500	560	0,84	8



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
BALOK INDUK TIPE B4

SKALA

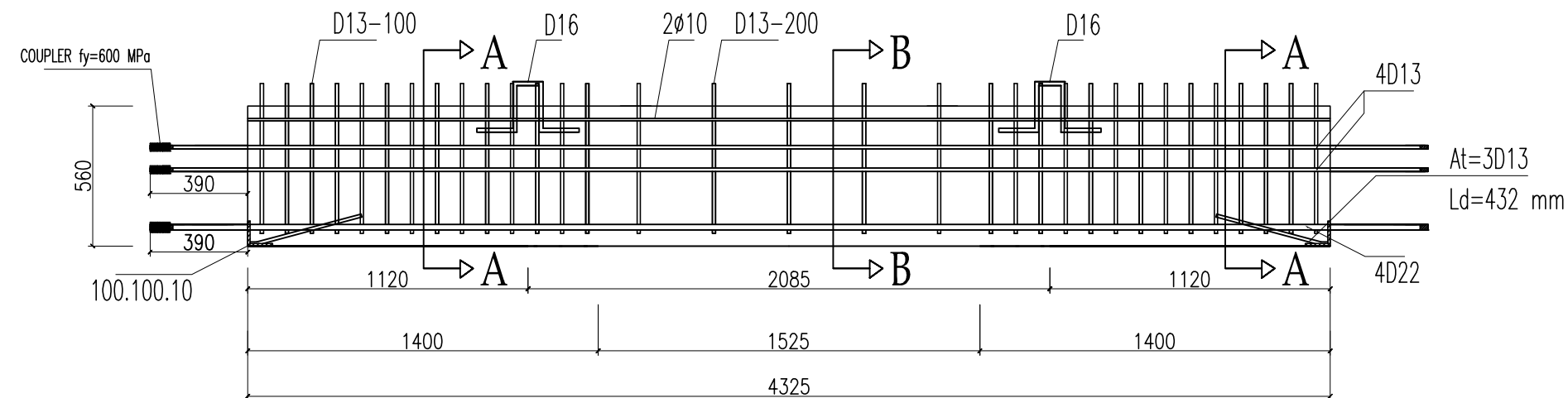
1 : 25

KODE GBR NO GBR JML GBR

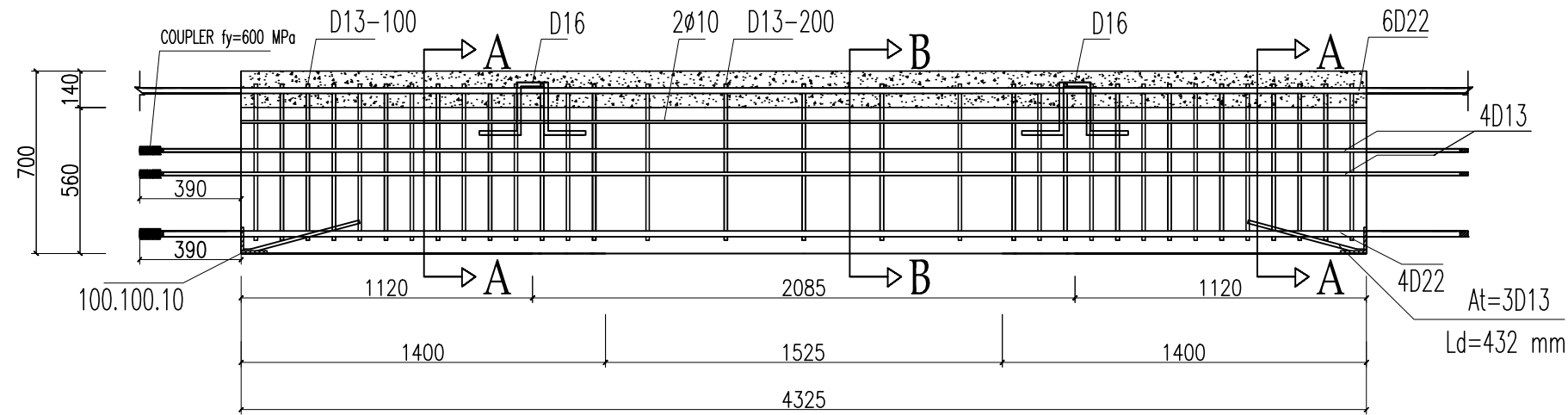
STR

56

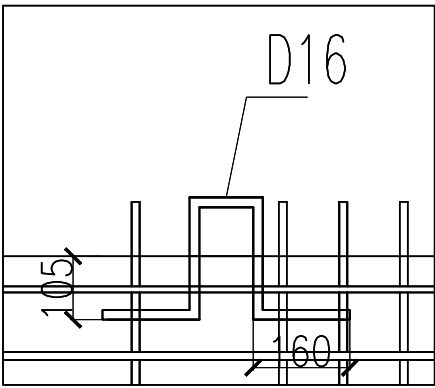
93



1:25 PENULANGAN SEBELUM KOMPOSIT BALOK INDUK TIPE B4



1:25 PENULANGAN SETELAH KOMPOSIT BALOK INDUK TIPE B4



1:12,5 KEDALAMAN TUL. ANGKUR



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

DETAIL POTONGAN
PENULANGAN
BALOK INDUK TIPE B4

SKALA

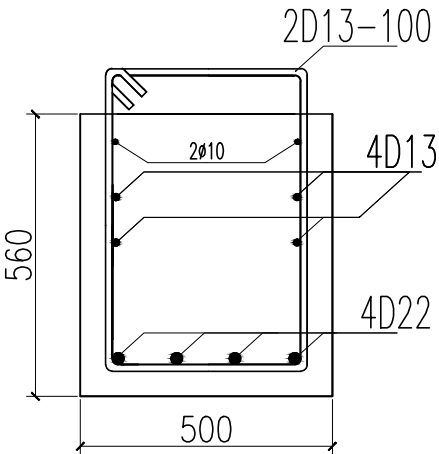
1 : 15

KODE GBR NO GBR JML GBR

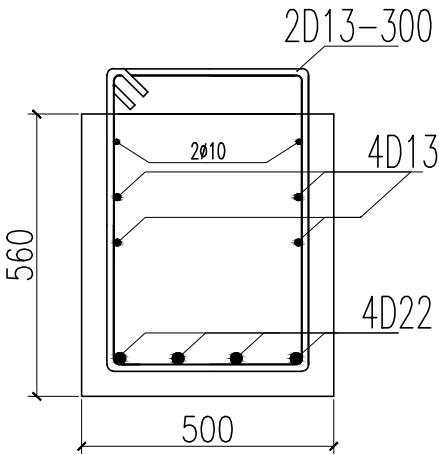
STR

57

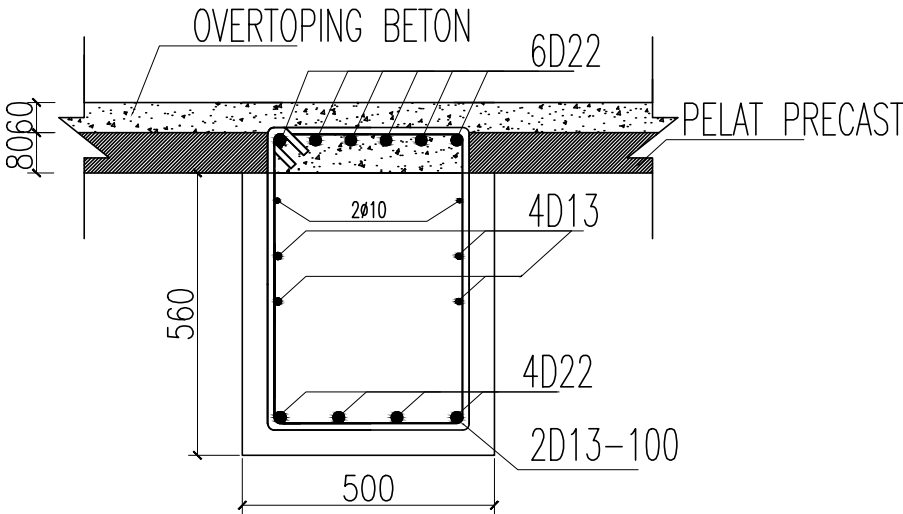
93



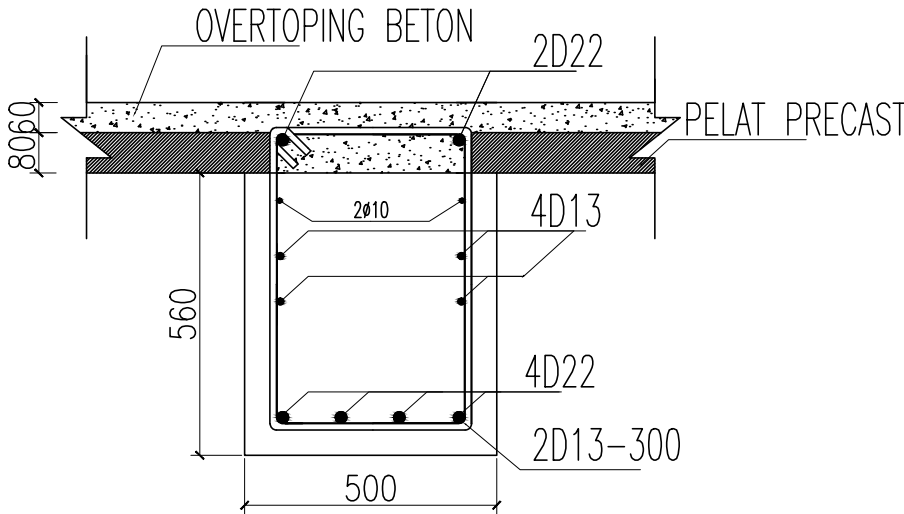
1:15 POTONGAN A - A SEBELUM KOMPOSIT



1:15 POTONGAN B - B SEBELUM KOMPOSIT



1:15 POTONGAN A - A SETELAH KOMPOSIT



1:15 POTONGAN B - B SETELAH KOMPOSIT

TABEL BALOK INDUK PRECAST

TIPE BALOK INDUK	ts(mm)	Ln(mm)	b(mm)	h(mm)	BERAT (TON)	JUMLAH
B1	50	6400	500	560	4,23	144
B2	50	4000	500	560	2,64	64
B3	50	2800	500	560	1,85	96
B4	50	4325	500	560	2,86	24
B5	50	1275	500	560	0,84	8



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

DETAIL PENULANGAN
BALOK INDUK TIPE B5

1 : 20

KODE GBR

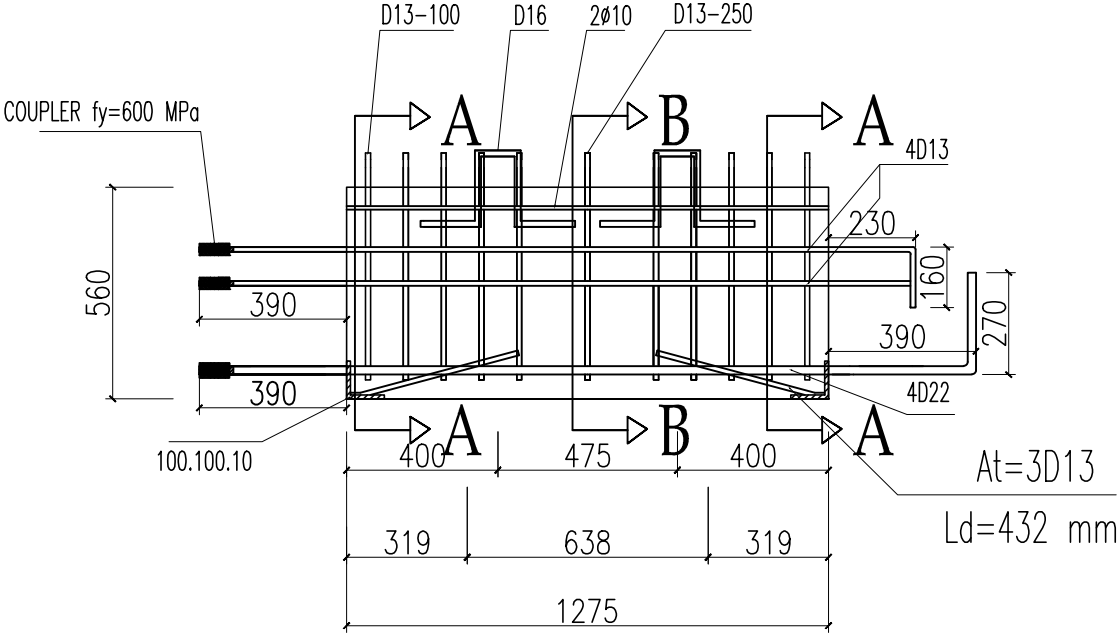
NO GBR

JML GBR

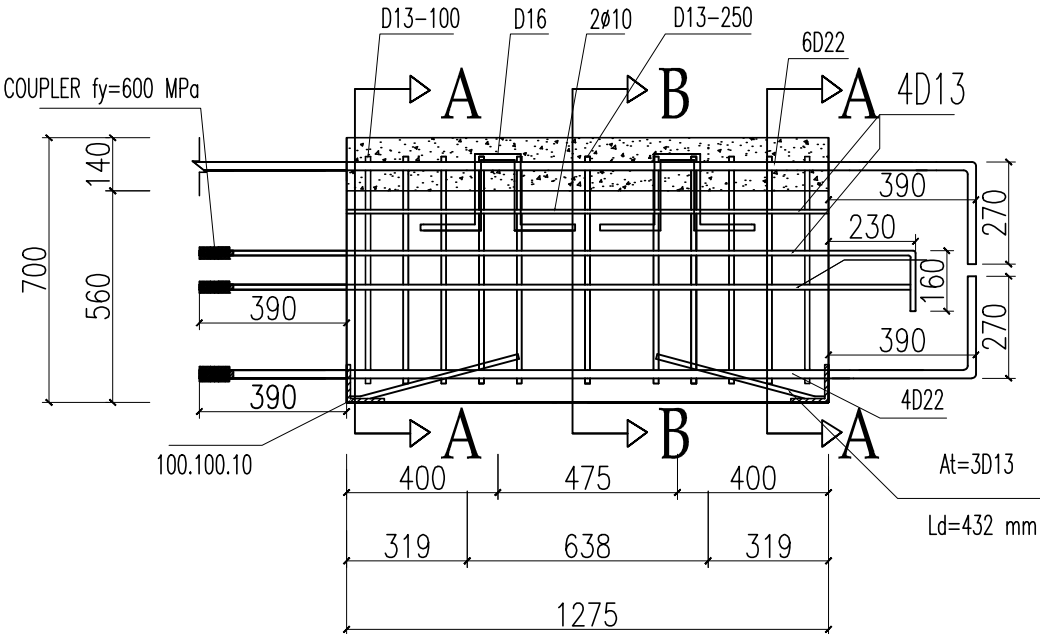
STR

58

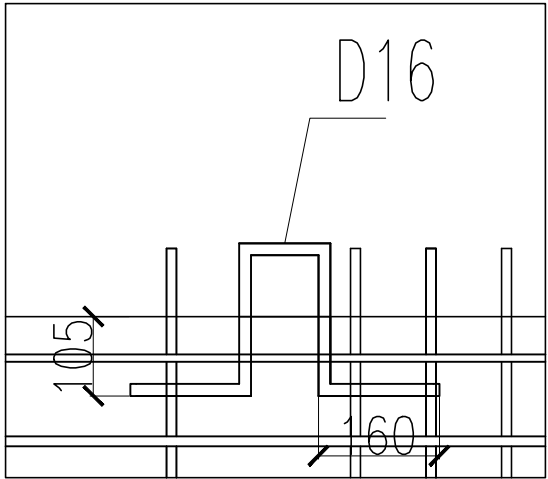
93



1:20 PENULANGAN SEBELUM KOMPOSIT BALOK INDUK TIPE B5



1:20 PENULANGAN SEBELUM KOMPOSIT BALOK INDUK TIPE B5



1:10 KEDALAMAN TUL. ANGKUR



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

DETAIL POTONGAN
PENULANGAN
BALOK INDUK TIPE B5

SKALA

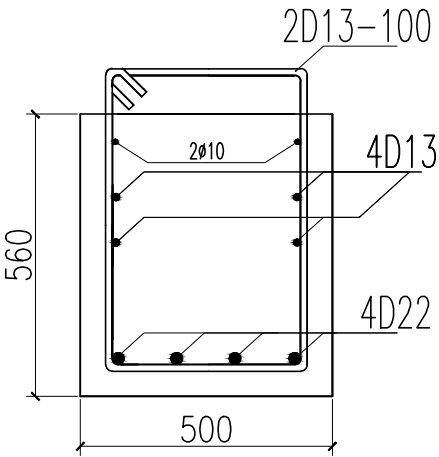
1 : 15

KODE GBR NO GBR JML GBR

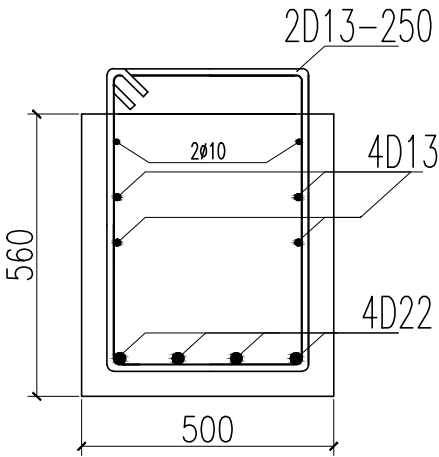
STR

59

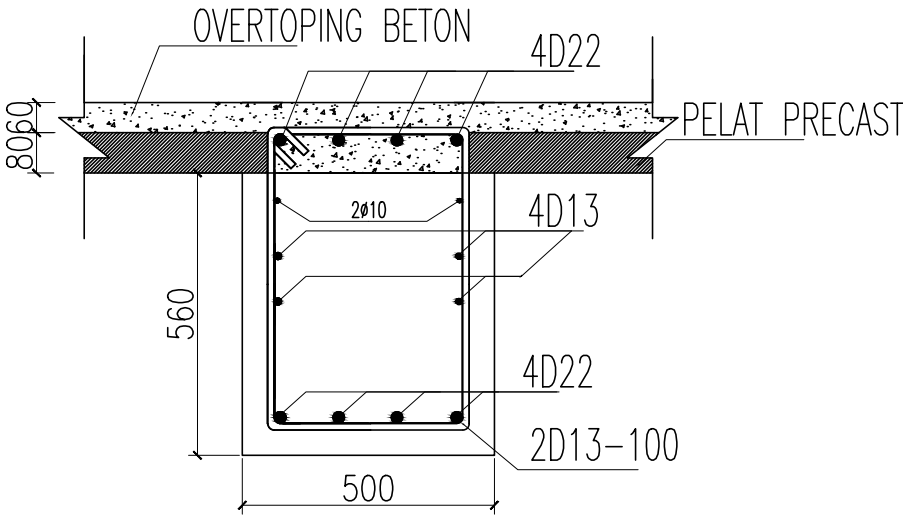
93



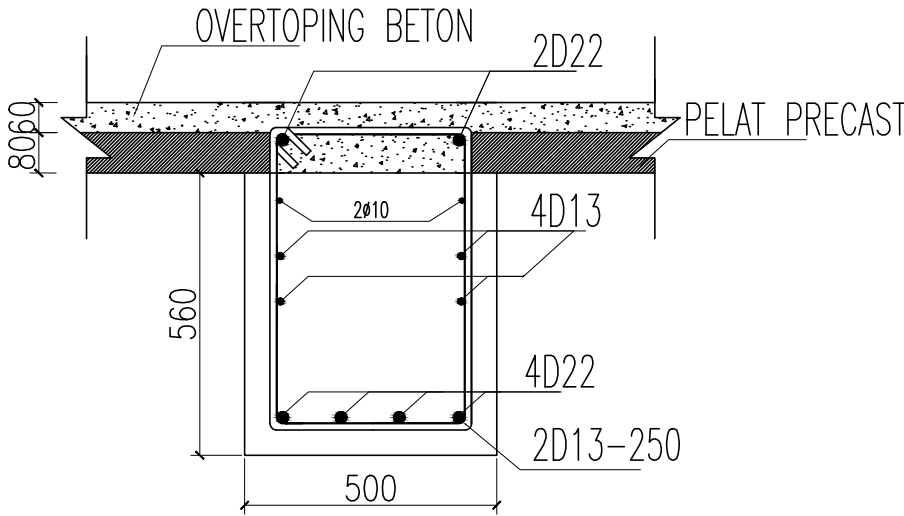
1:15 POTONGAN A - A SEBELUM KOMPOSIT



1:15 POTONGAN B - B SEBELUM KOMPOSIT



1:15 POTONGAN A - A SETELAH KOMPOSIT



1:15 POTONGAN B - B SETELAH KOMPOSIT

TABEL BALOK INDUK PRECAST

TIPE BALOK INDUK	ts(mm)	Ln(mm)	b(mm)	h(mm)	BERAT (TON)	JUMLAH
B1	50	6400	500	560	4,23	144
B2	50	4000	500	560	2,64	64
B3	50	2800	500	560	1,85	96
B4	50	4325	500	560	2,86	24
B5	50	1275	500	560	0,84	8



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
BALOK PENUMPUN LIFT

SKALA

1 : 20

KODE GBR

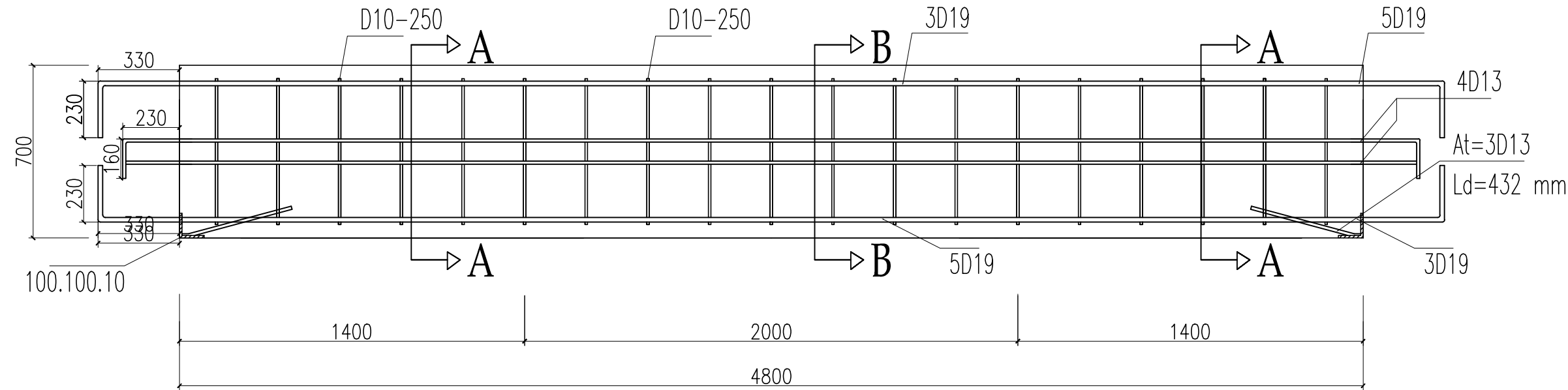
NO GBR

JML GBR

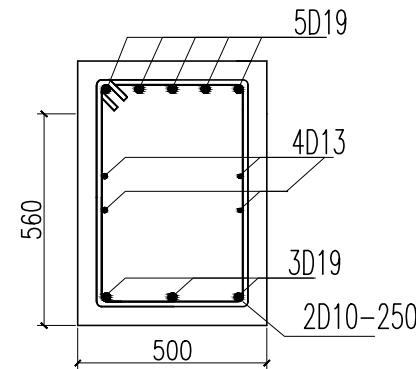
STR

60

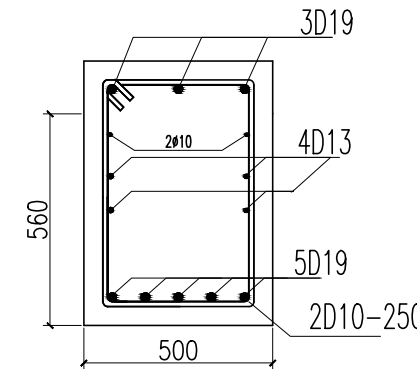
93



1:20 PENULANGAN BALOK PENUMPUN LIFT



1:20 POTONGAN A - A



1:20 POTONGAN B - B



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
BALOK
PENGgantUNG LIFT

SKALA

1 : 15

KODE GBR

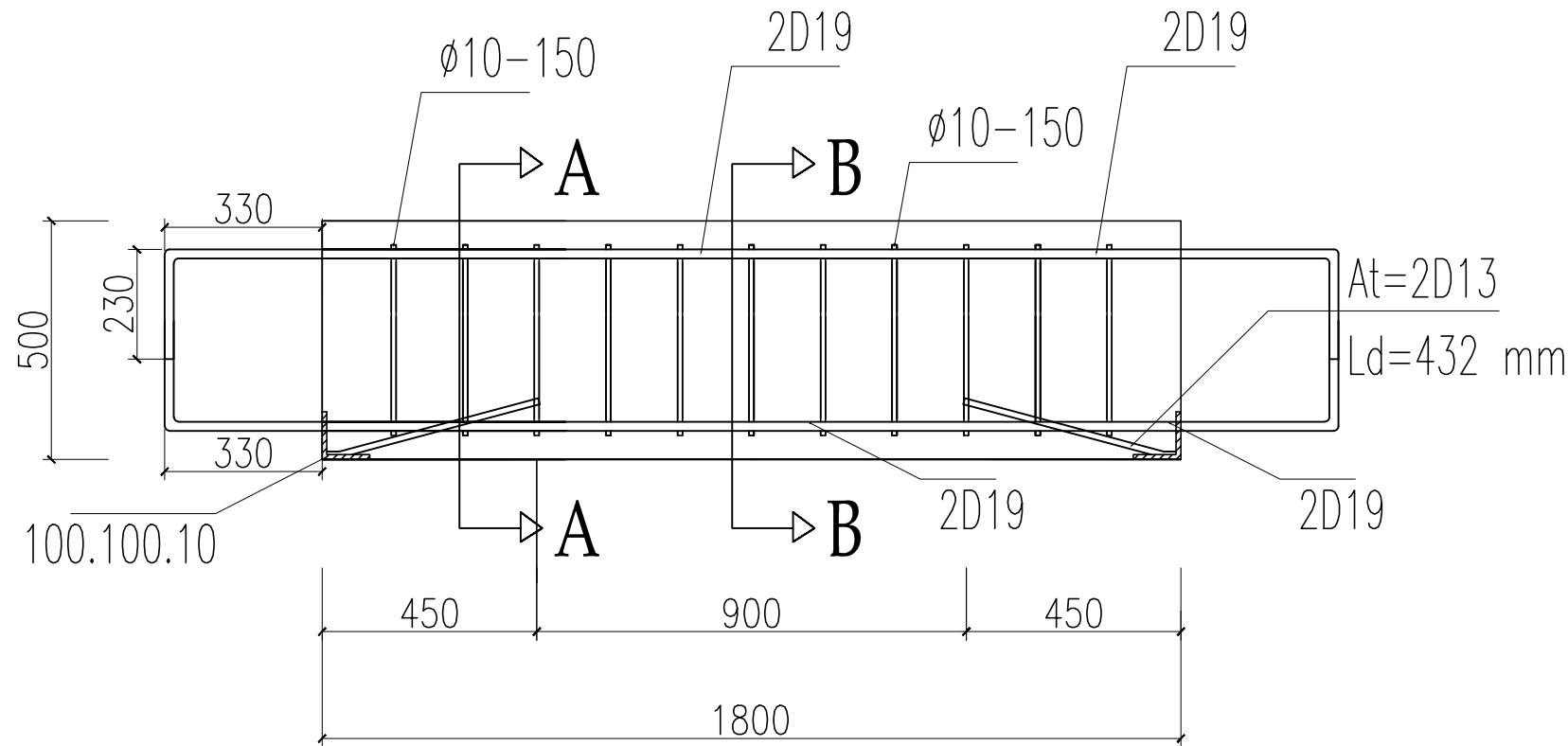
STR

NO GBR

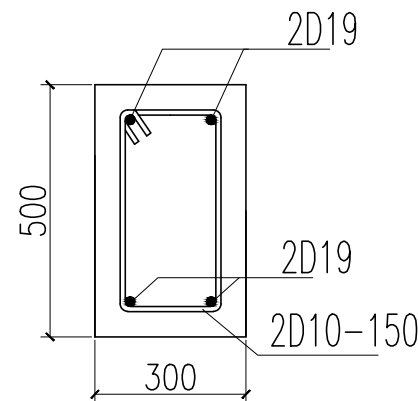
61

JML GBR

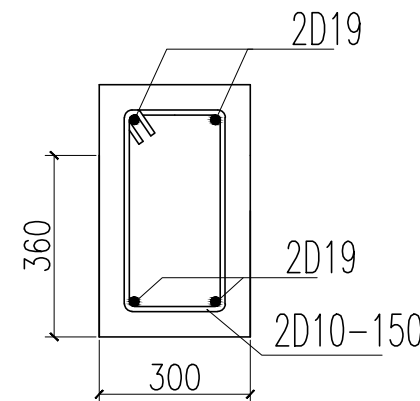
93



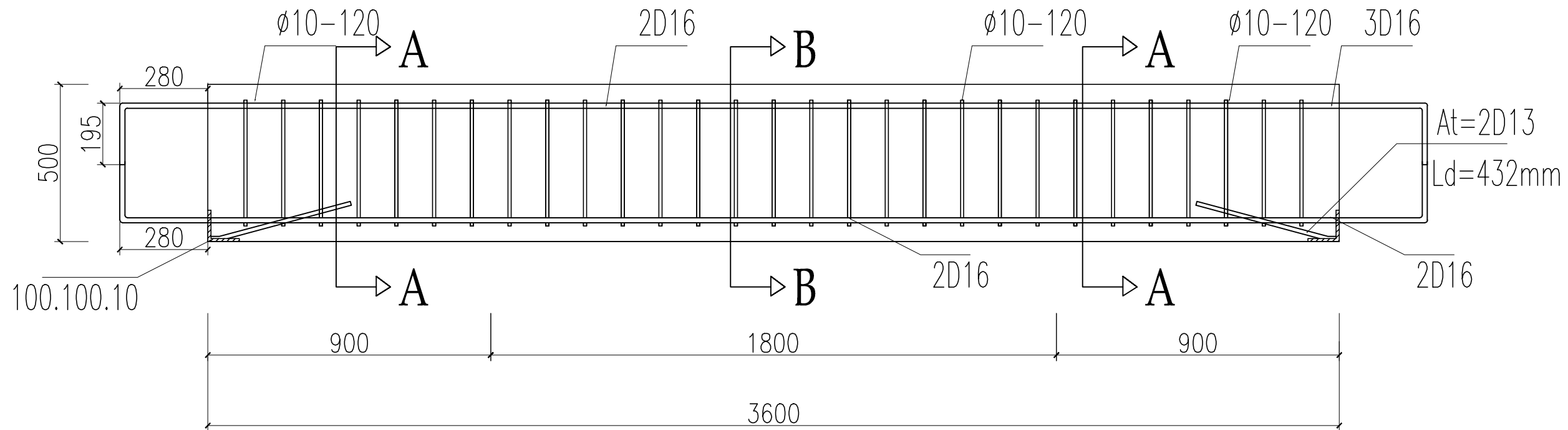
1:15 **PENULANGAN BALOK PENGgantUNG LIFT**



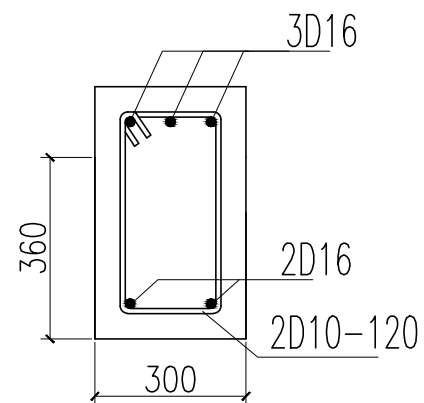
1:15 **POTONGAN A - A**



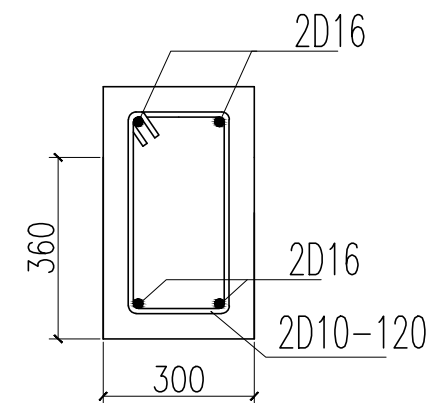
1:15 **POTONGAN B - B**



1:15 PENULANGAN BALOK BORDES



1:15 POTONGAN A - A



1:15 POTONGAN B - B



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
BALOK BORDES

SKALA

1 : 15

KODE GBR

STR

NO GBR

62

JML GBR

93



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GWDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

TABEL
REKAPITULASI
PENULANGAN
BALOK INDUK

SKALA

1 : 15

KODE GBR NO GBR JML GBR

STR

63

93

DETAIL PENULANGAN BALOK INDUK

TIPE LANTAI	B1		B2		B3	
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
LANTAI 1-8						
B X H	500 x 700	500 x 700	500 x 700	500 x 700	500 x 700	500 x 700
TUL. ATAS	8 D22	2 D22	6 D22	2 D22	6 D22	2 D22
TUL. BAWAH	5 D22	4 D22	4 D22	4 D22	5 D22	4 D22
TUL. BADAN	4 D13	4 D13	4 D13	4 D13	4 D13	4 D13
SENGKANG	2D13-100	2D13-300	2D13-100	2D13-300	2D13-100	2D13-200

DETAIL PENULANGAN BALOK INDUK

TIPE LANTAI	B4		B5	
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
LANTAI 1-8				
B X H	500 x 700	500 x 700	500 x 700	500 x 700
TUL. ATAS	6 D22	2 D22	4 D22	2 D22
TUL. BAWAH	4 D22	4 D22	4 D22	4 D22
TUL. BADAN	4 D13	4 D13	4 D13	4 D13
SENGKANG	2D13-120	2D13-300	2D13-100	2D13-250



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GWDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

TABEL
REKAPITULASI
PENULANGAN
BALOK INDUK

SKALA

1 : 7,5

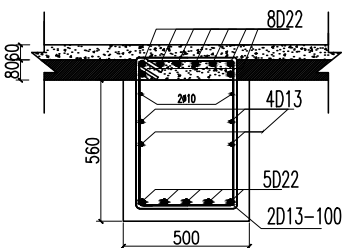
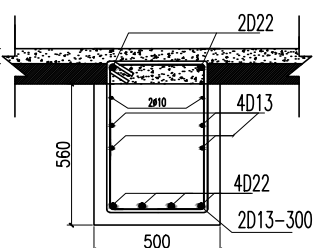
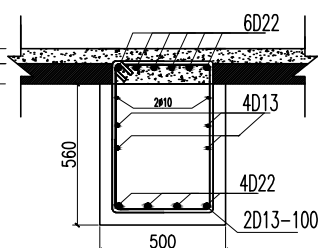
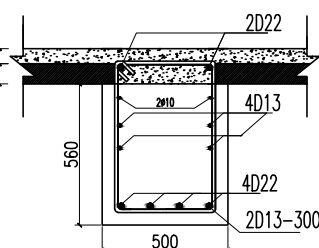
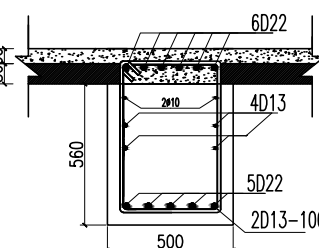
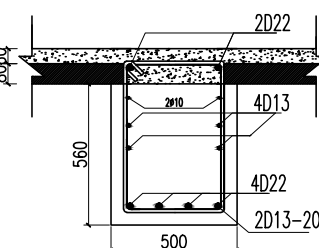
KODE GBR NO GBR JML GBR

STR

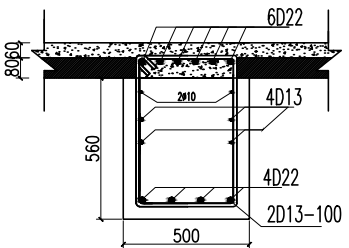
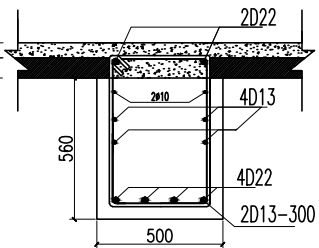
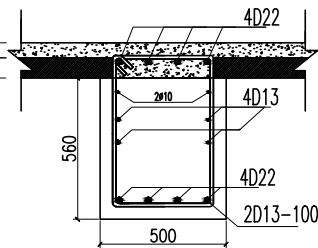
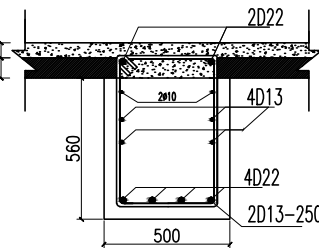
63

93

DETAIL PENULANGAN BALOK INDUK

TIPE LANTAI	B1		B2		B3	
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
LANTAI 1-8						
	B X H	500 x 700	500 x 700	500 x 700	500 x 700	500 x 700
	TUL. ATAS	8 D22	2 D22	6 D22	2 D22	6 D22
	TUL. BAWAH	5 D22	4 D22	4 D22	4 D22	5 D22
	TUL. BADAN	4 D13	4 D13	4 D13	4 D13	4 D13
	SENGKANG	2D13-100	2D13-300	2D13-100	2D13-300	2D13-200

DETAIL PENULANGAN BALOK INDUK

TIPE LANTAI	B4		B5	
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
LANTAI 1-8				
	B X H	500 x 700	500 x 700	500 x 700
	TUL. ATAS	6 D22	2 D22	4 D22
	TUL. BAWAH	4 D22	4 D22	4 D22
	TUL. BADAN	4 D13	4 D13	4 D13
	SENGKANG	2D13-120	2D13-300	2D13-250

1:7,5 TABEL REKAPITULASI PENULANGAN BALOK INDUK



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (*PRECAST*)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GWDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

TABEL
REKAPITULASI
PENULANGAN
BALOK ANAK

SKALA

1 : 15

KODE GBR NO GBR JML GBR

STR

64

93

DETAIL PENULANGAN BALOK ANAK

TIPE LANTAI	BA1		BA2		BA3	
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
LANTAI 1-8						
B X H	300 x 500	300 x 500	300 x 500	300 x 500	300 x 500	300 x 500
TUL. ATAS	5 D19	2 D19	2 D19	2 D19	2 D19	2 D19
TUL. BAWAH	3 D19	4 D19	2 D19	2 D19	2 D19	2 D19
SENGKANG	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200

DETAIL PENULANGAN BALOK ANAK

TIPE LANTAI	BA4		BA5	
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
LANTAI 1-8				
B X H	300 x 500	300 x 500	300 x 500	300 x 500
TUL. ATAS	2 D19	2 D19	2 D19	2 D19
TUL. BAWAH	2 D19	2 D19	2 D19	2 D19
SENGKANG	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GWDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

TABEL
REKAPITULASI
PENULANGAN
BALOK ANAK

SKALA

1 : 7,5

KODE GBR

NO GBR

JML GBR

STR

64

93

DETAIL PENULANGAN BALOK ANAK

TIPE LANTAI	B1		B2		B3	
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
LANTAI 1-8						
B X H	300 x 500	300 x 500	300 x 500	300 x 500	300 x 500	300 x 500
TUL. ATAS	5 D19	2 D19	2 D19	2 D19	2 D19	2 D19
TUL. BAWAH	3 D19	4 D19	2 D19	2 D19	2 D19	2 D19
TUL. BADAN	-	-	-	-	-	-
SENGKANG	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200

DETAIL PENULANGAN BALOK ANAK

TIPE LANTAI	B4		B5	
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
LANTAI 1-8				
B X H	300 x 500	300 x 500	300 x 500	300 x 500
TUL. ATAS	2 D19	2 D19	2 D19	2 D19
TUL. BAWAH	2 D19	2 D19	2 D19	2 D19
TUL. BADAN	-	-	-	-
SENGKANG	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (*PRECAST*)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 1011141000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GWDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

TABEL
REKAPITULASI
PENULANGAN
BALOK KOLOM

1 : 15

KODE GBR

NO GBR

JML GBR

STR

65

93

TIPE LANTAI	K1	K1	K1
LANTAI 1-8			
B X H	800 X 800	800 X 800	800 X 800
TULL. LENTUR	16 D25	16 D25	16 D25
SENGKANG	4D13-95	4D13-150	4D13-95
LOKASI	Sendi plastis	Luar Sendi plastis	Joint

1:15 TABEL REKAPITULASI PENULANGAN BALOK KOLOM

DETAIL PENULANGAN BALOK LIFT

TIPE LANTAI	B1		BALOK PENGGANTUNG	
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
B X H	500 x 700	500 x 700	300 x 500	300 x 500
TUL. ATAS	5 D19	5 D19	2 D19	2 D19
TUL. BAWAH	3 D19	3 D19	2 D19	2 D19
TUL. BADAN	4 D13	4 D13		
SENGKANG	2ø10-250	2ø10-250	2ø10-150	2ø10-150

DETAIL PENULANGAN BALOK BORDES

TIPE LANTAI	BALOK BORDES	
	TUMPUAN	LAPANGAN
B X H	300 x 500	300 x 500
TUL. ATAS	3 D16	2 D16
TUL. BAWAH	2 D16	2 D16
SENGKANG	2ø10-120	2ø10-120



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (*PRECAST*)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 1011141000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

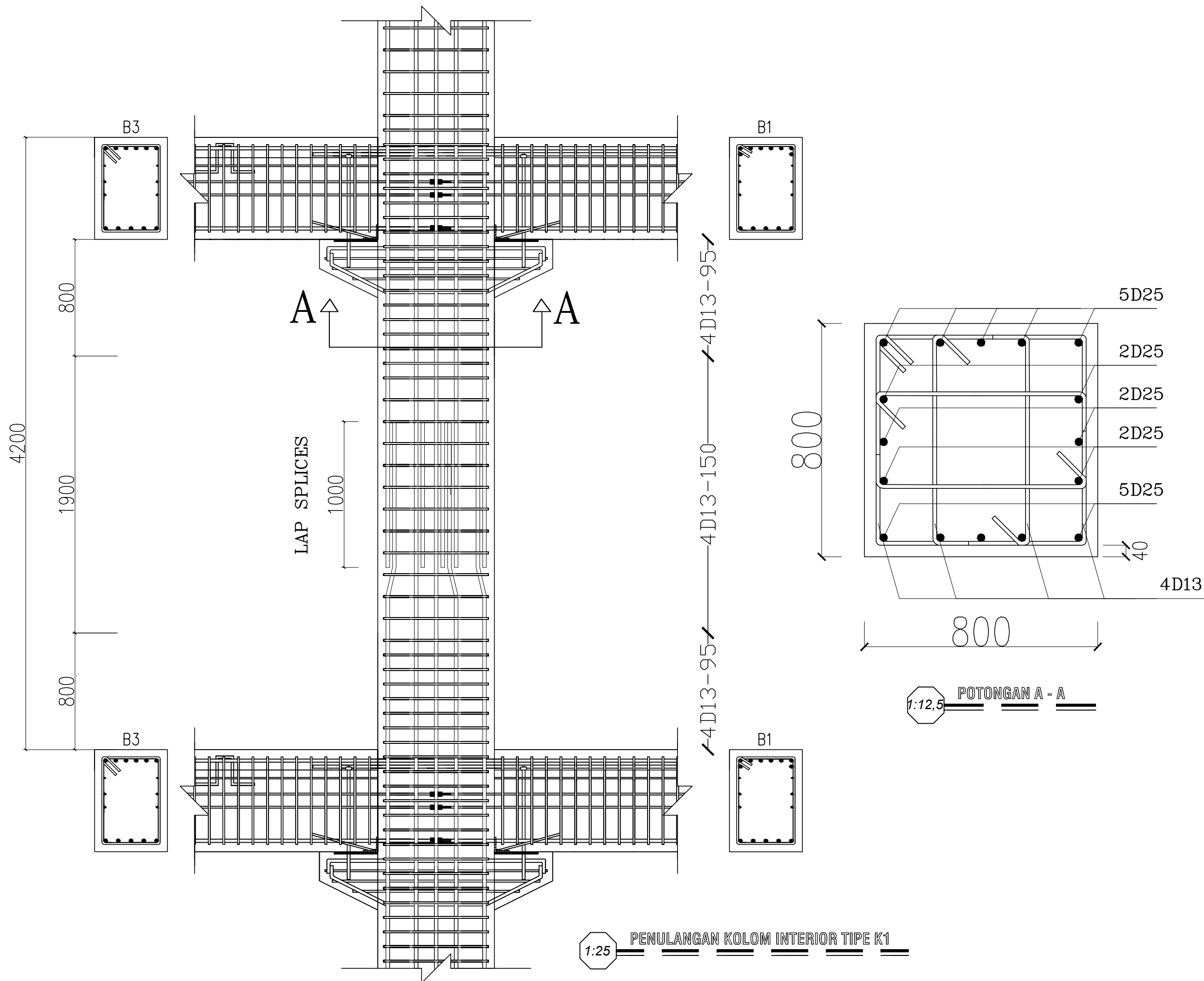
GWDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR		SKALA
TABEL REKAPITULASI PENULANGAN BALOK LIFT & BORDES		1 : 15
KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	66	93



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GWDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR	SKALA
PENULANGAN KOLOM INTERIOR TIPE K1	1 : 25

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	67	93



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 1011141000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GWDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

PENULANGAN KOLOM
EKSTERIOR TIPE K1

1 : 25

KODE GBR

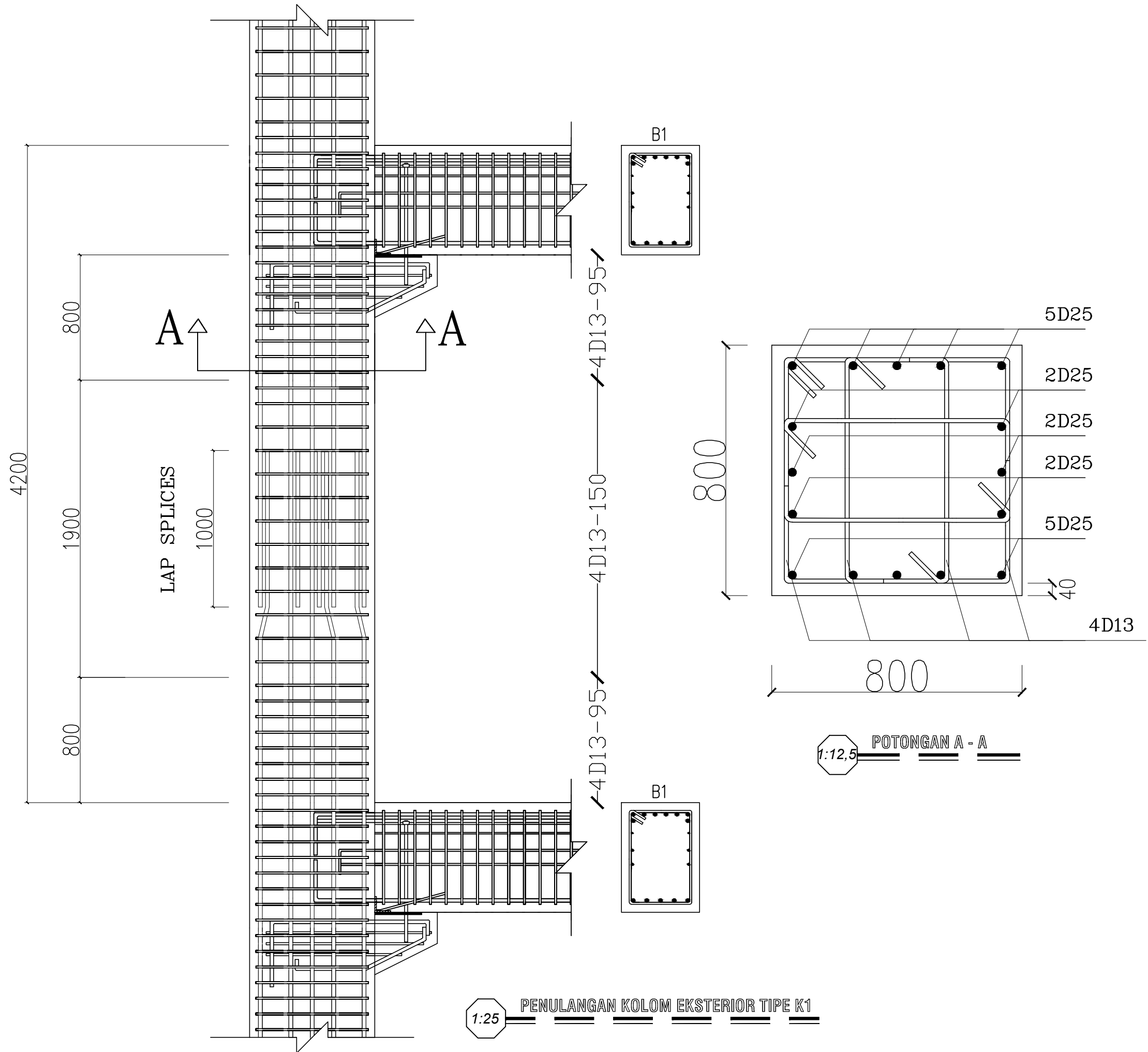
NO GBR

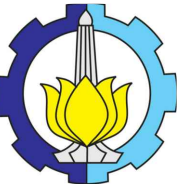
JML GBR

STR

68

93





DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 1011141000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

PORTAL MELINTANG

SKALA

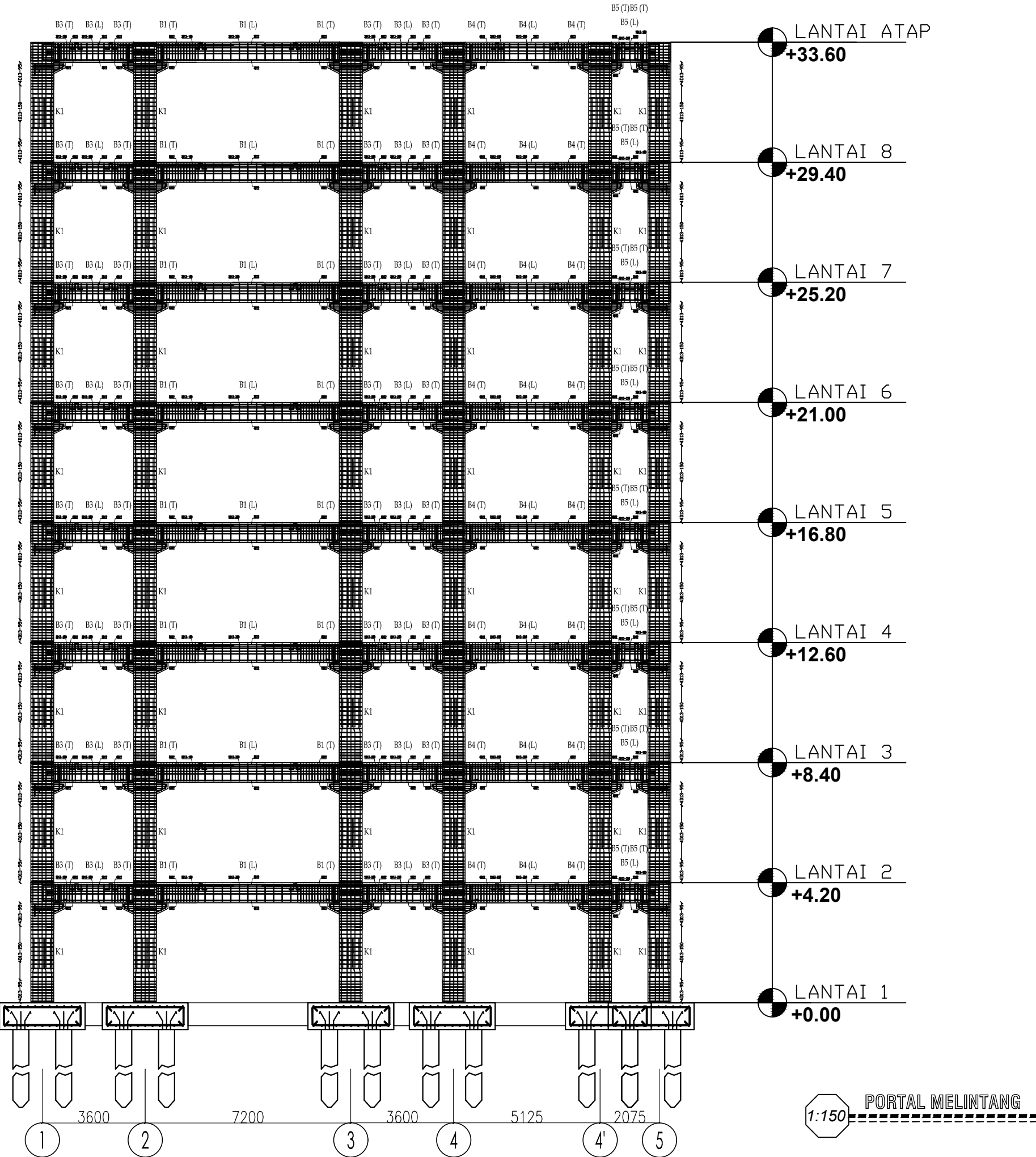
1:150

KODE GBR NO GBR JML GBR

STR

69

93



KET:
(T) = TUMPUAN
(L) = LAPANGAN



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 1011141000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

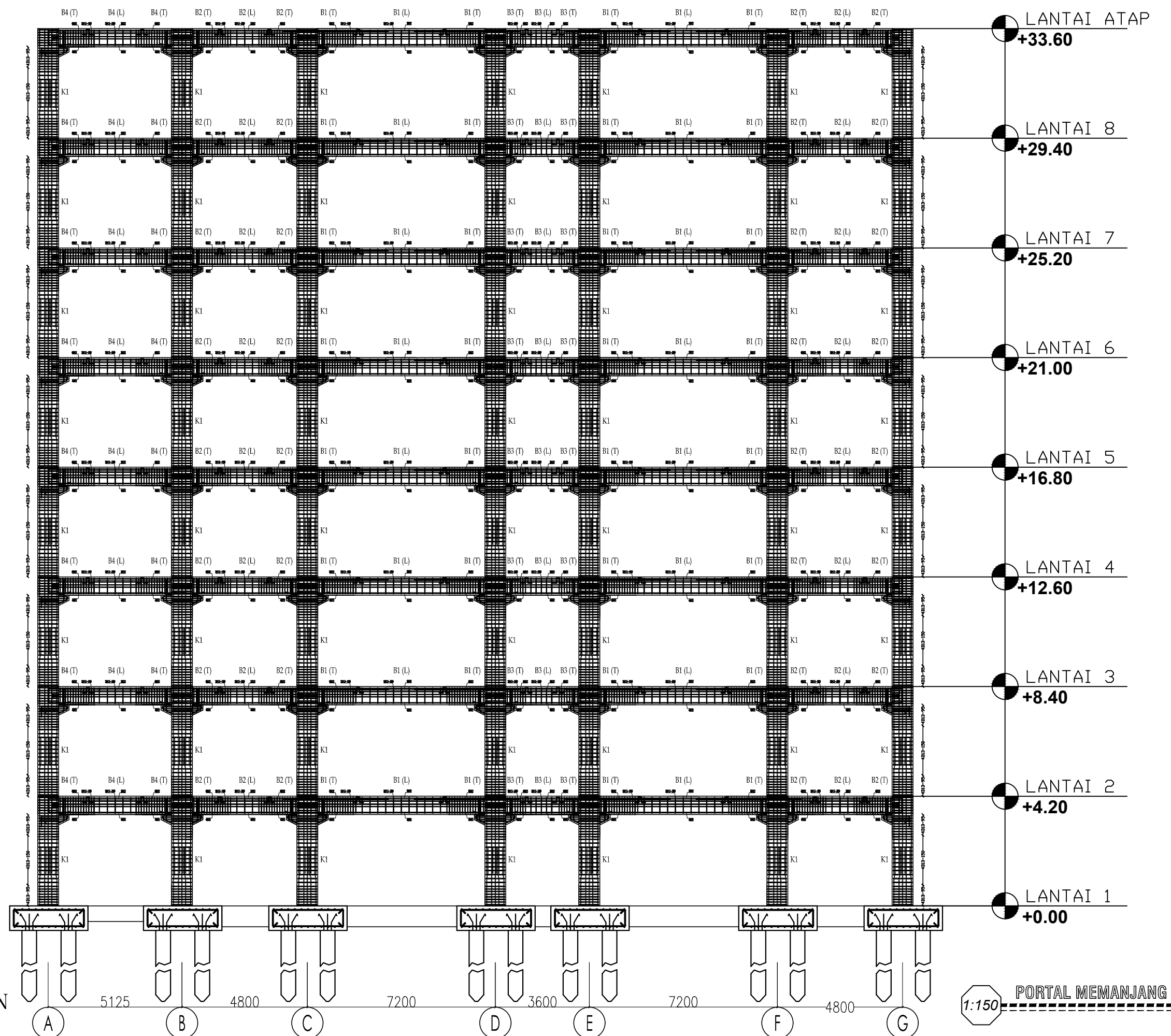
CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR	SKALA
PORTAL MEMANJANG	1:150

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	70	93



KET:
(T) = TUMPUAN
(L) = LAPANGAN



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 1011141000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
TANGGA

SKALA

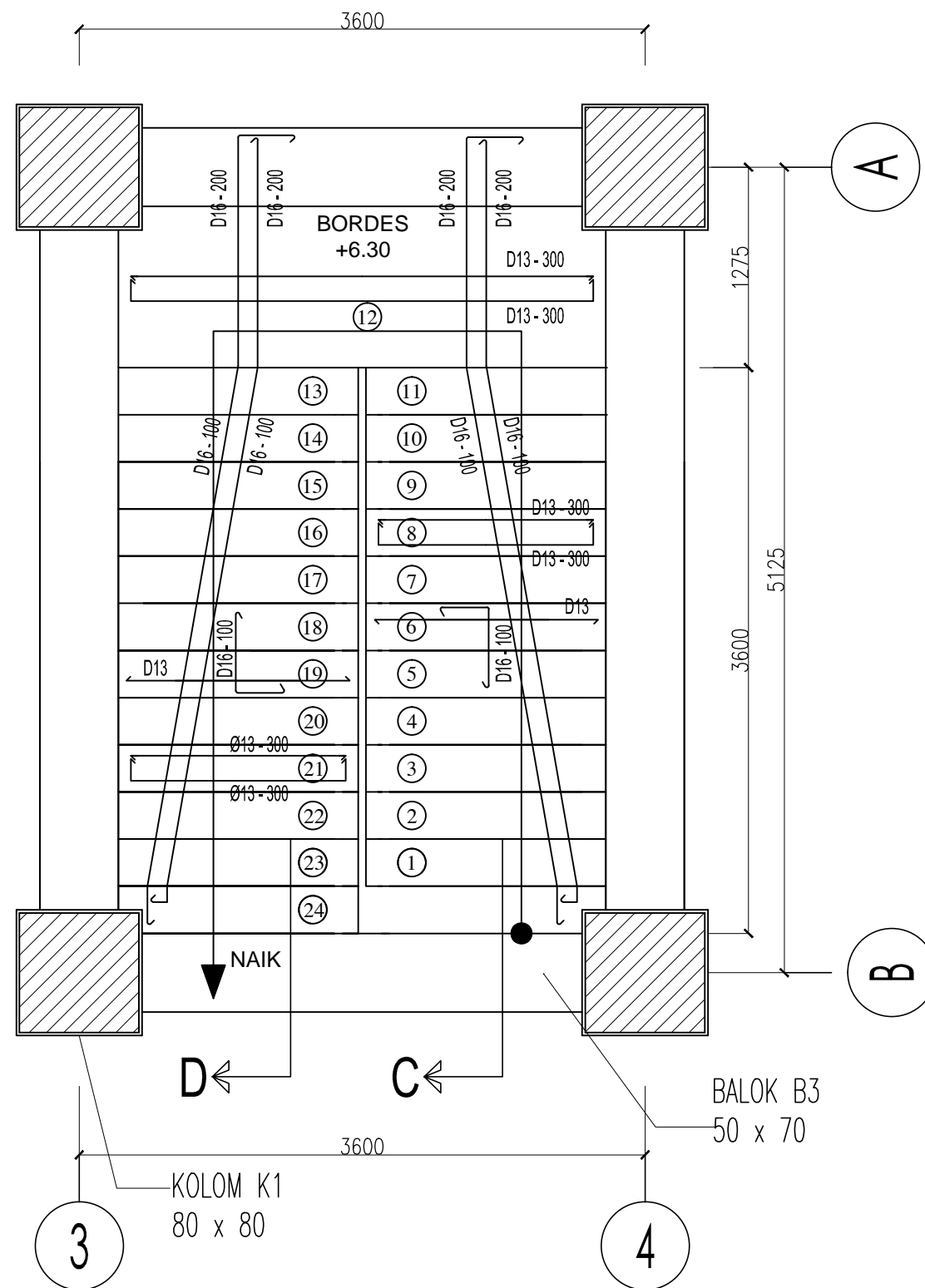
1 : 40

KODE GBR NO GBR JML GBR

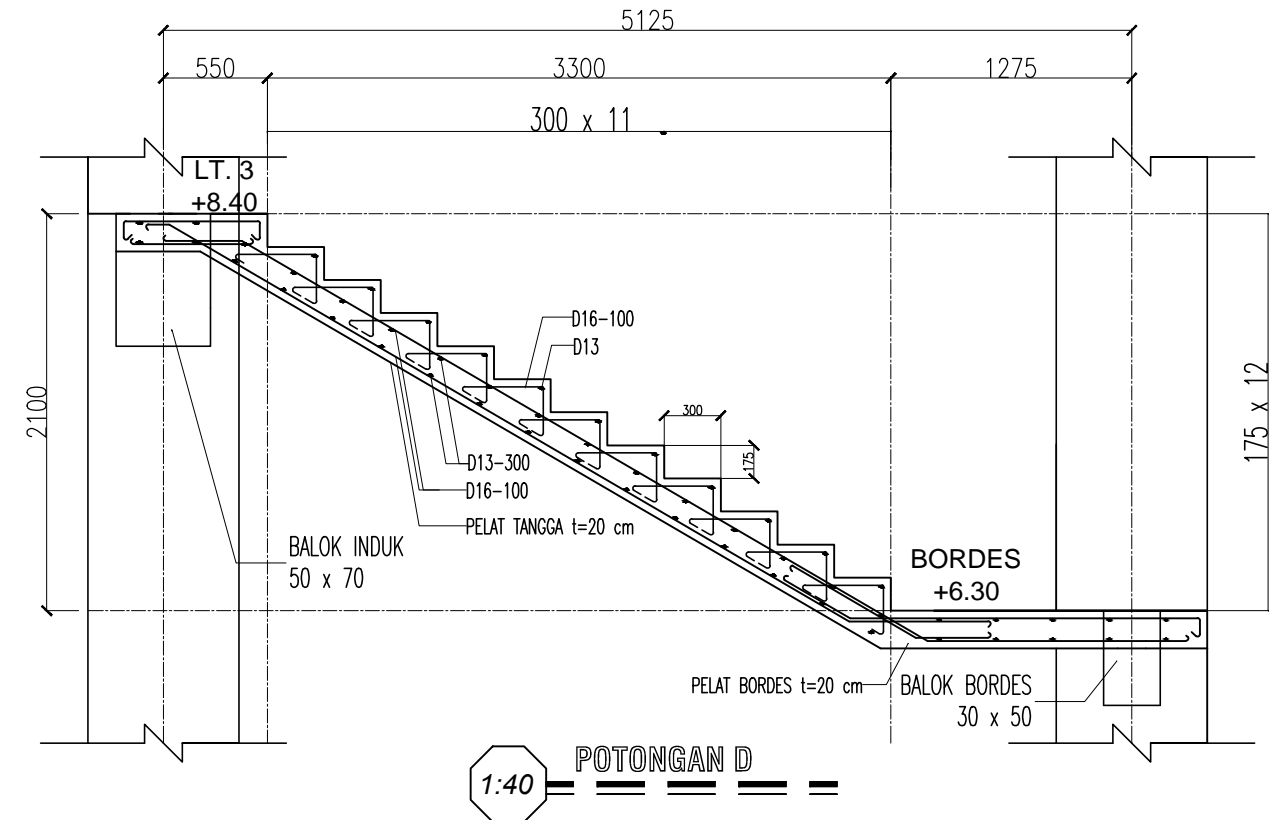
STR

71

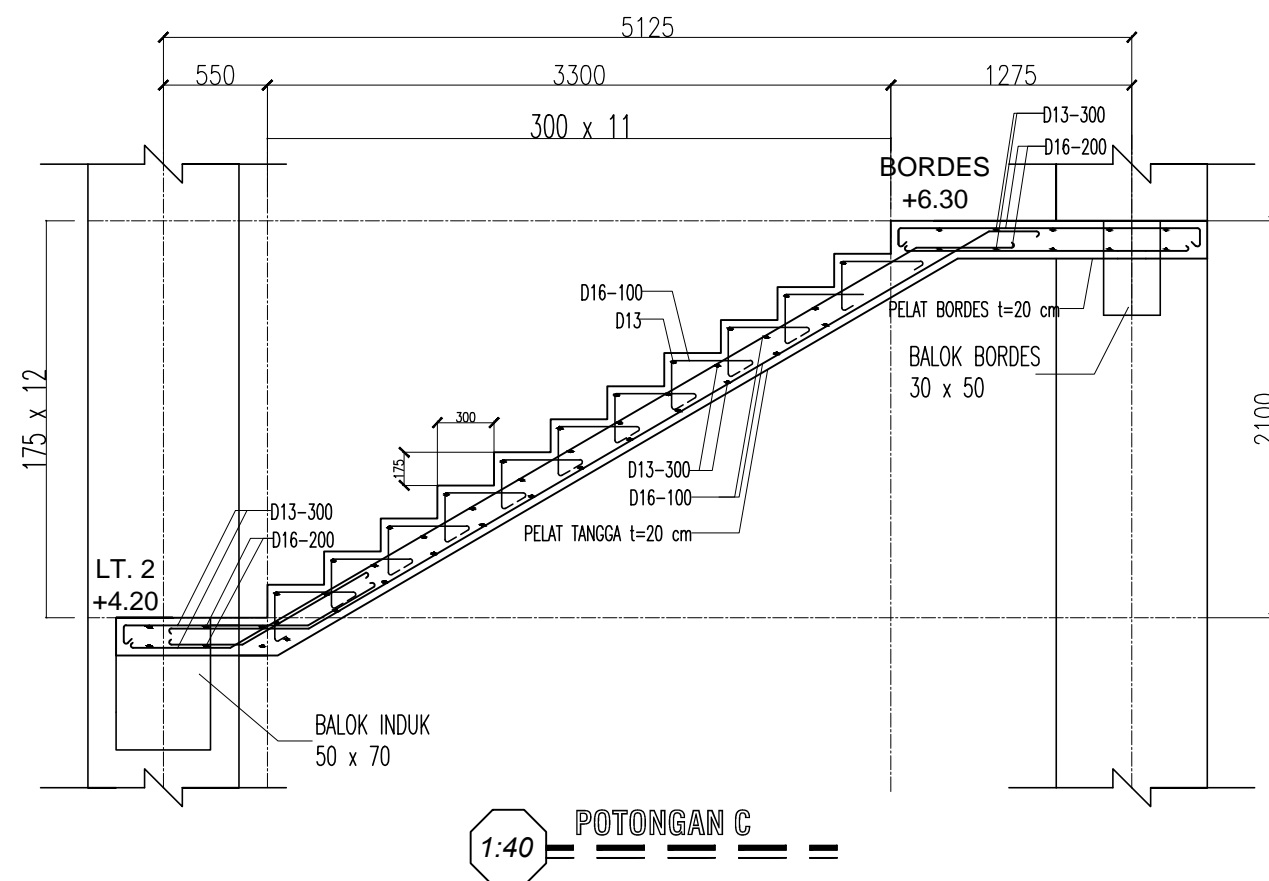
93



1:40 DENAH PENULANGAN TYPICAL TANGGA



1:40 POTONGAN D



1:40 POTONGAN C



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 1011141000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

SAMBUNGAN
KOLOM - BALOK INDUK
INTERIOR

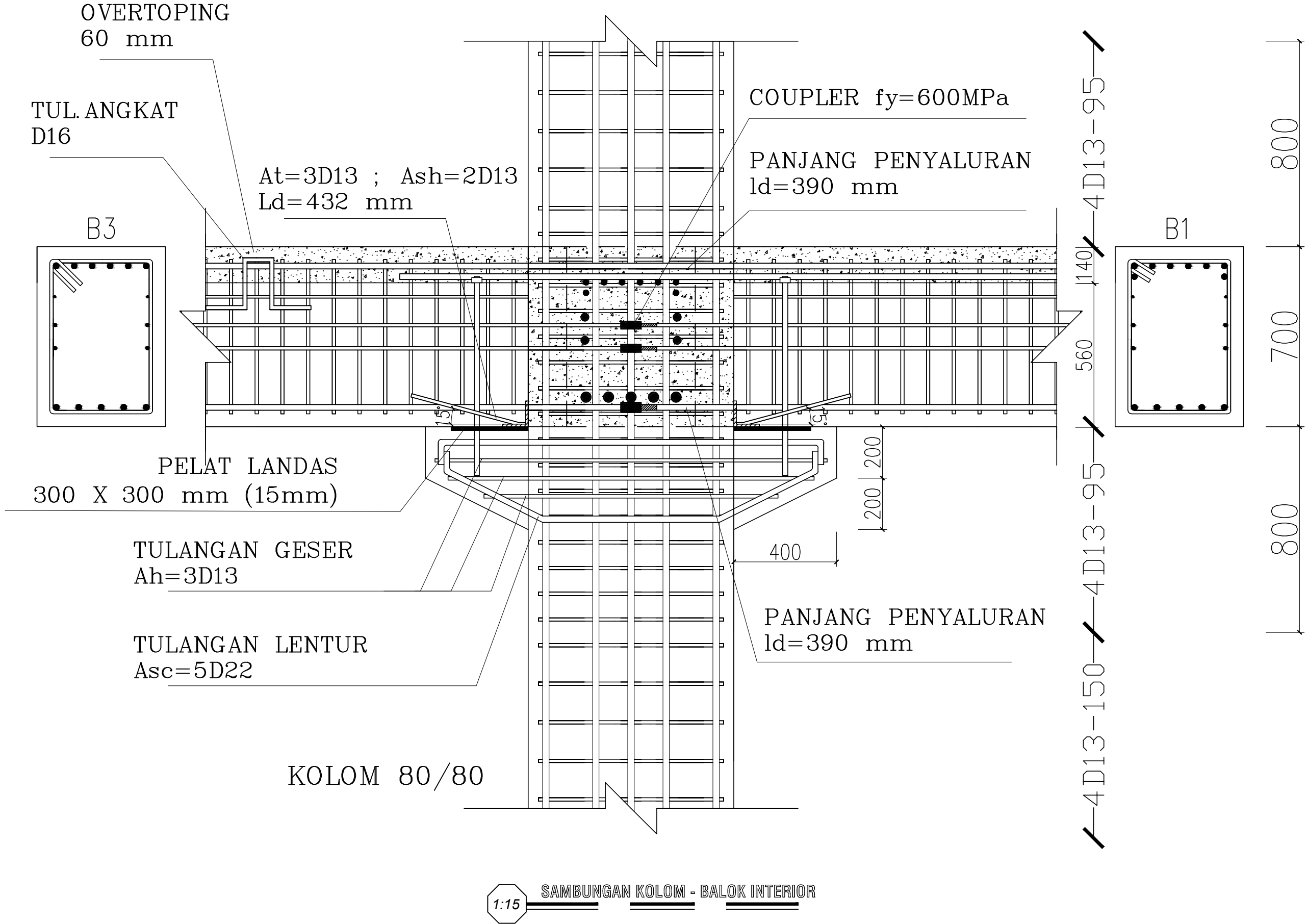
1 : 15

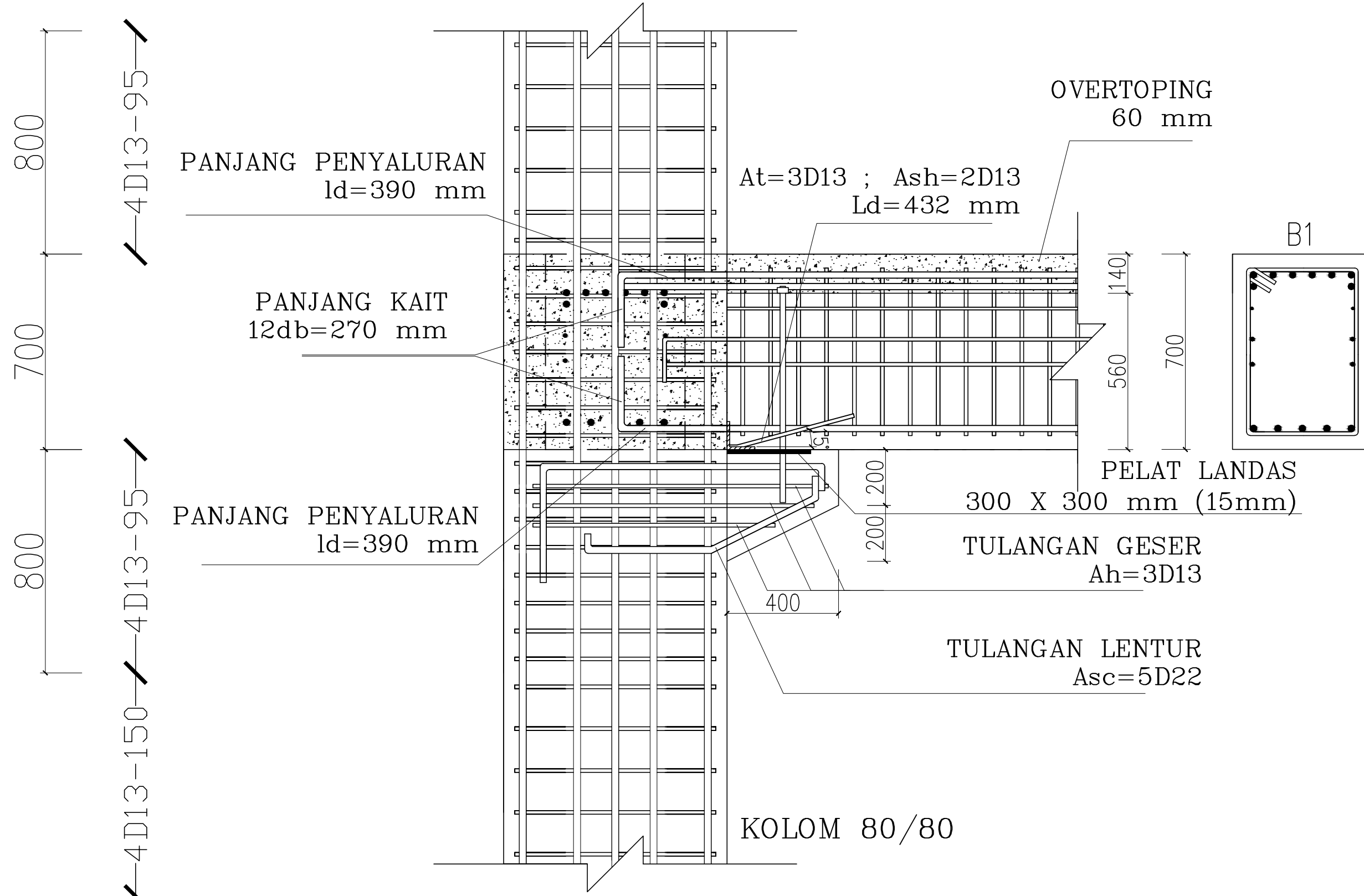
KODE GBR NO GBR JML GBR

STR

72

93





DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 1011141000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

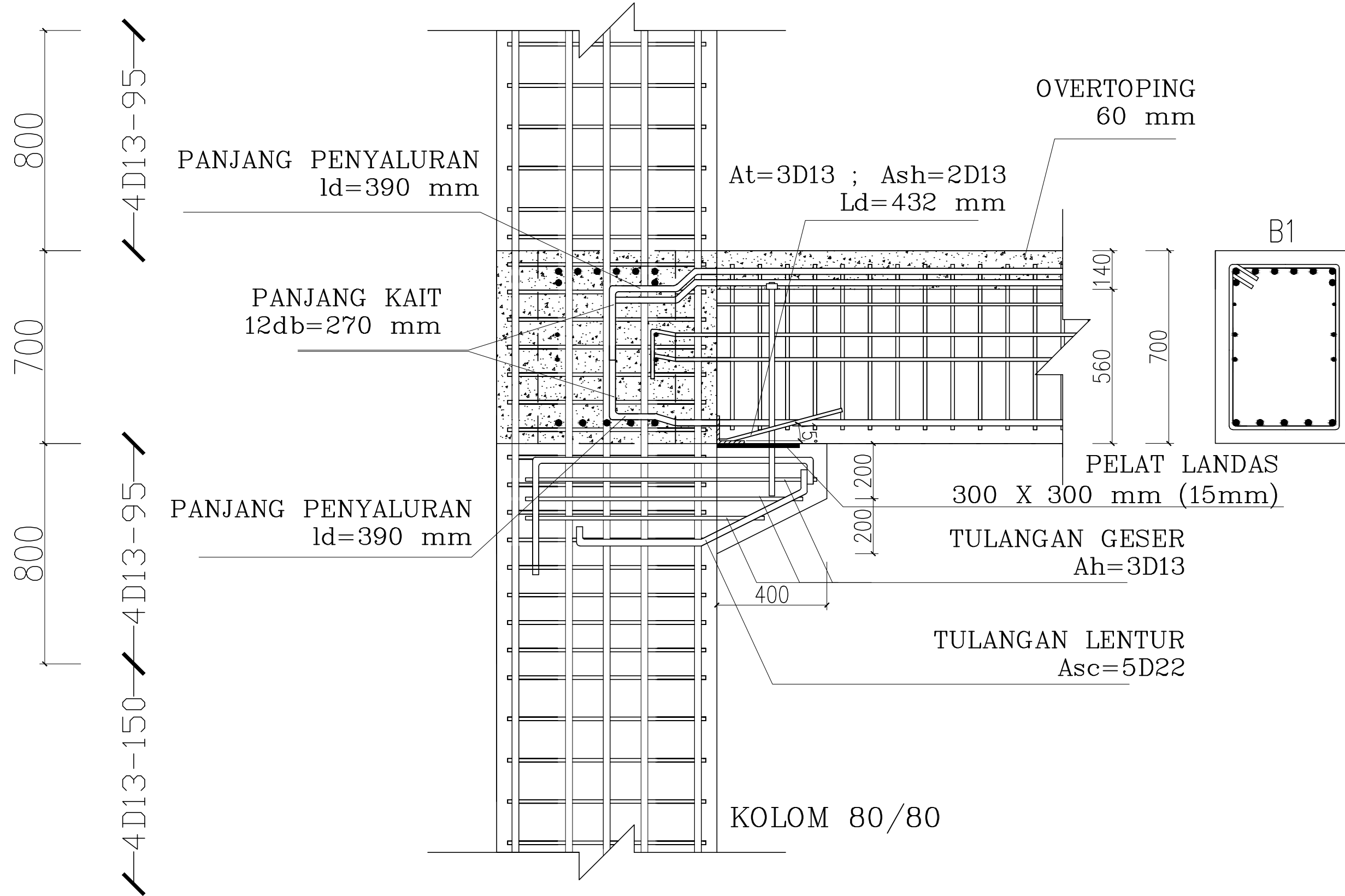
CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR	SKALA
SAMBUNGAN KOLOM - BALOK INDUK EKSTERIOR	1 : 15

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	73	93



1:15 SAMBUNGAN KOLOM - BALOK EKSTERIOR



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

SAMBUNGAN
KOLOM - BALOK INDUK
EKSTERIOR

1 : 15

KODE GBR NO GBR JML GBR

STR

73

93



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

SAMBUNGAN
BALOK INDUK -
BALOK ANAK
INTERIOR

1 : 15

KODE GBR

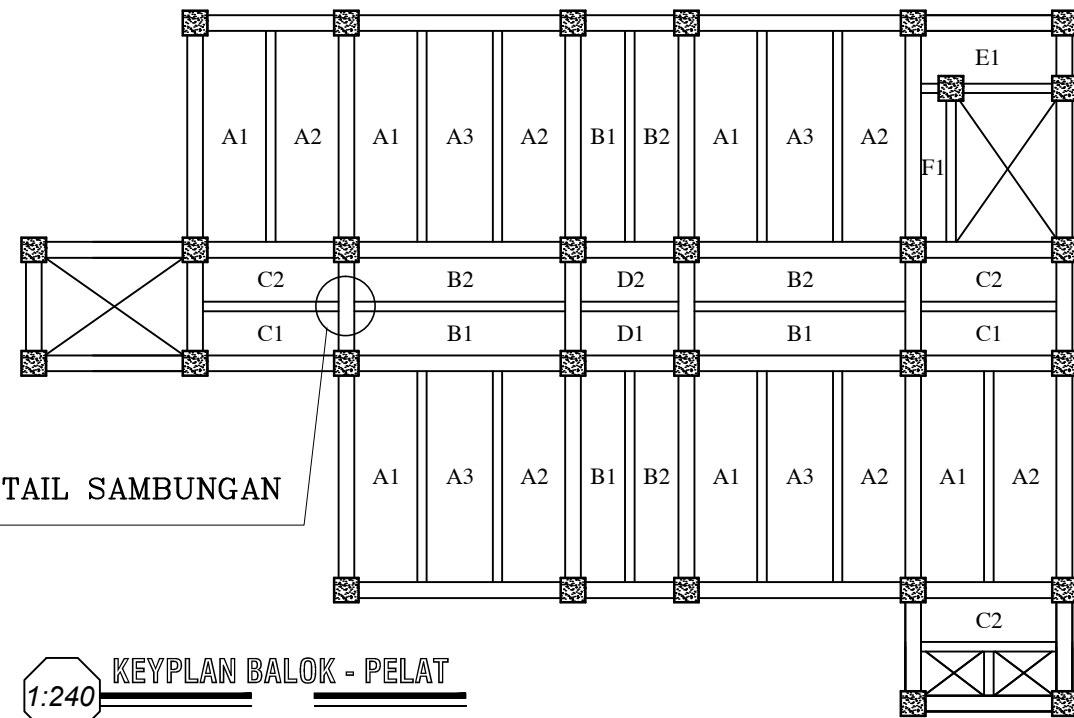
NO GBR

JML GBR

STR

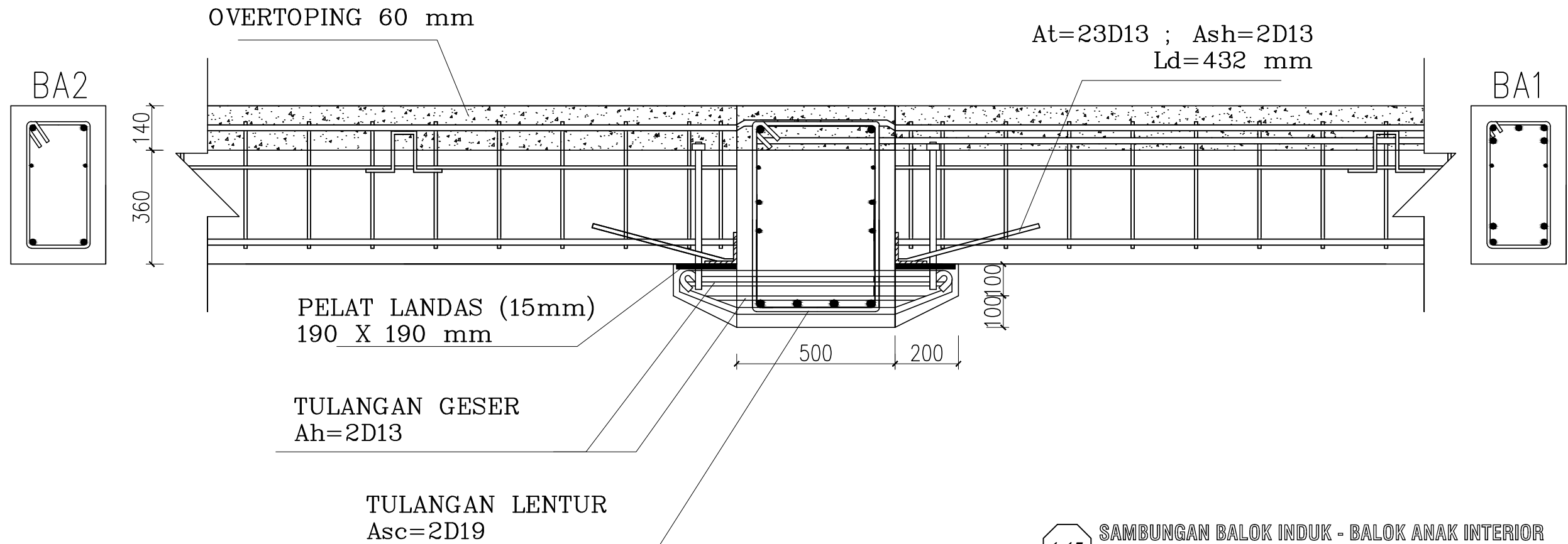
74

93

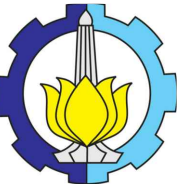


DETAIL SAMBUNGAN

1:240 KEYPLAN BALOK - PELAT



1:15 SAMBUNGAN BALOK INDUK - BALOK ANAK INTERIOR



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (*PRECAST*)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

SAMBUNGAN
BALOK INDUK -
BALOK ANAK
EKSTERIOR

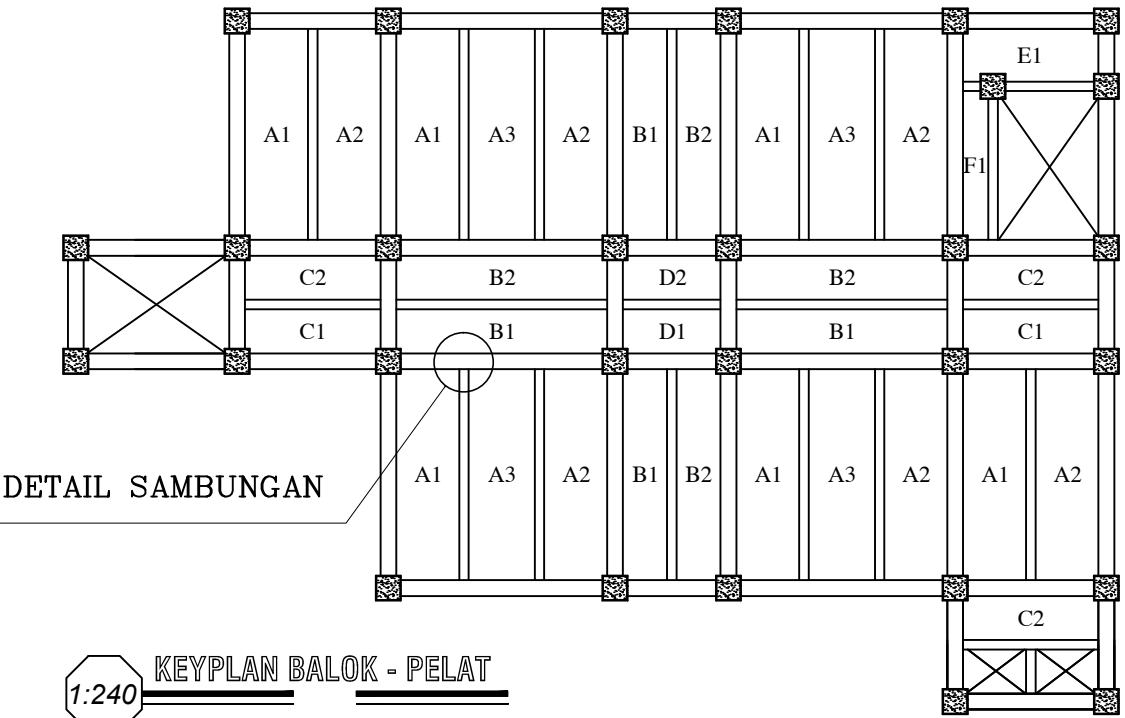
1 : 15

KODE GBR NO GBR JML GBR

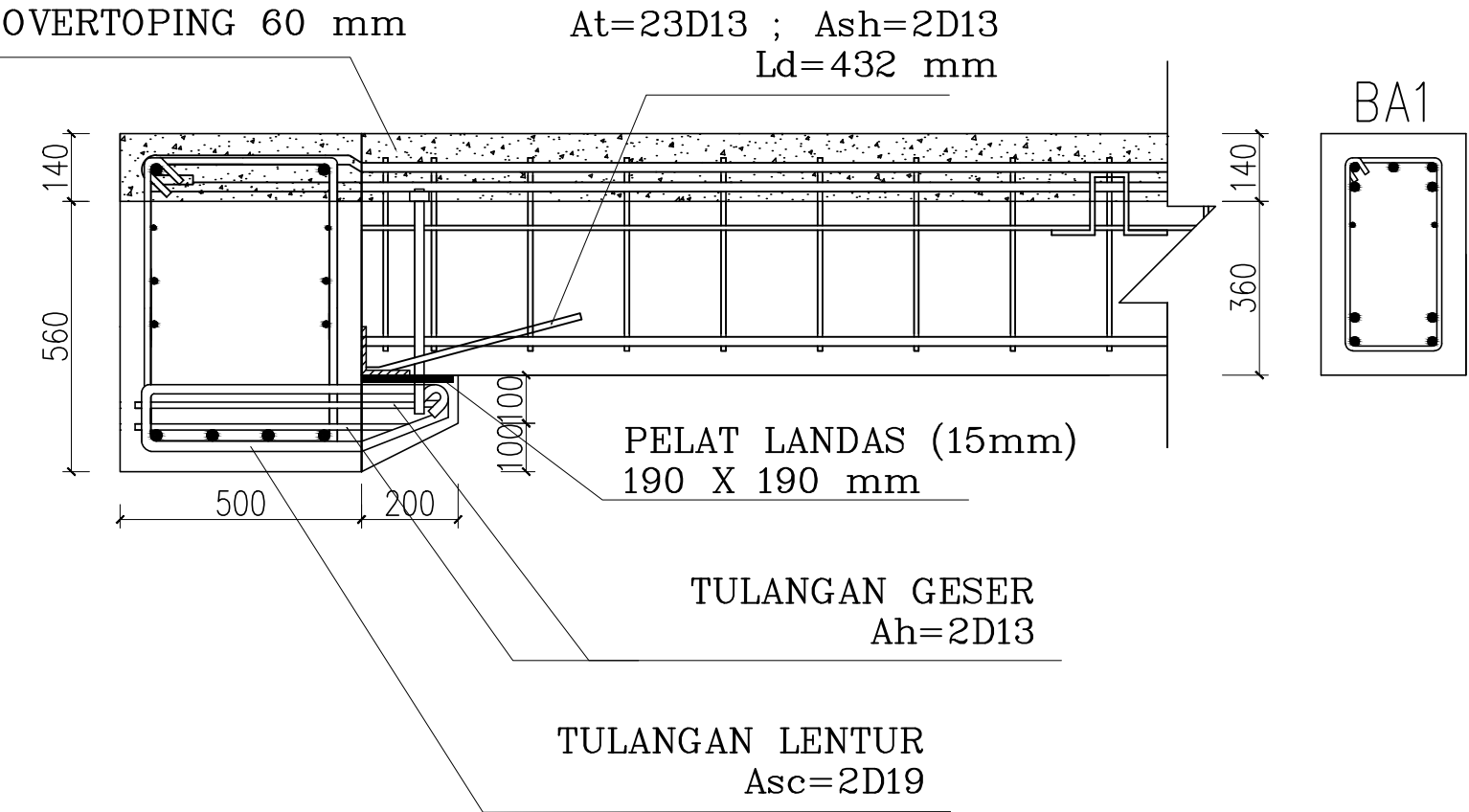
STR

75

93



1:240 KEYPLAN BALOK - PELAT



1:15 SAMBUNGAN BALOK INDUK - BALOK ANAK EKSTERIOR



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa: Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

SAMBUNGAN
BALOK INDUK -
PELAT INTERIOR

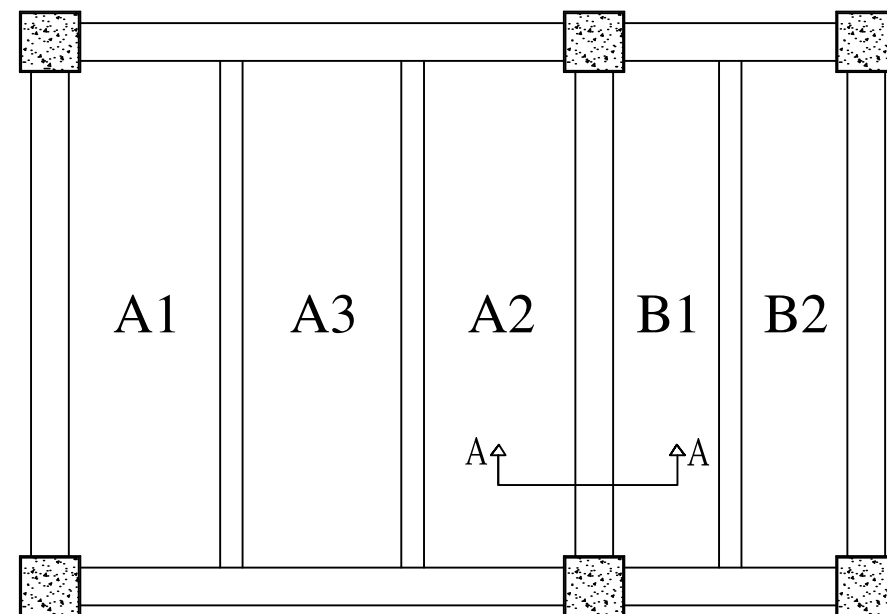
1 : 10

KODE GBR NO GBR JML GBR

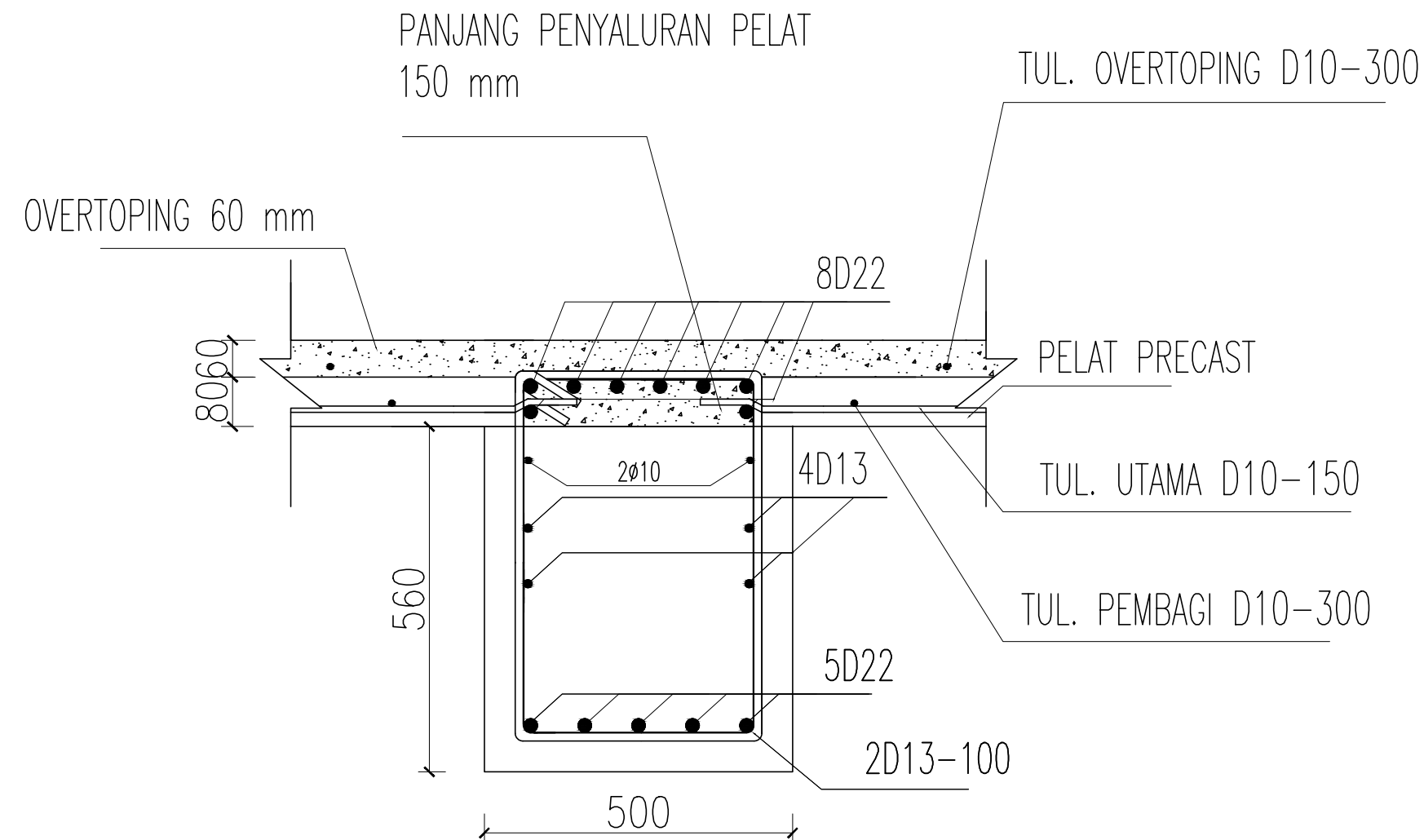
STR

76

93



1:100 KEYPLAN DENAH PELAT



1:10 POT. A-A SAMBUNGAN BALOK INDUK - PELAT INTERIOR



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa: Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SAMBUNGAN
BALOK INDUK -
PELAT EKSTERIOR

SKALA

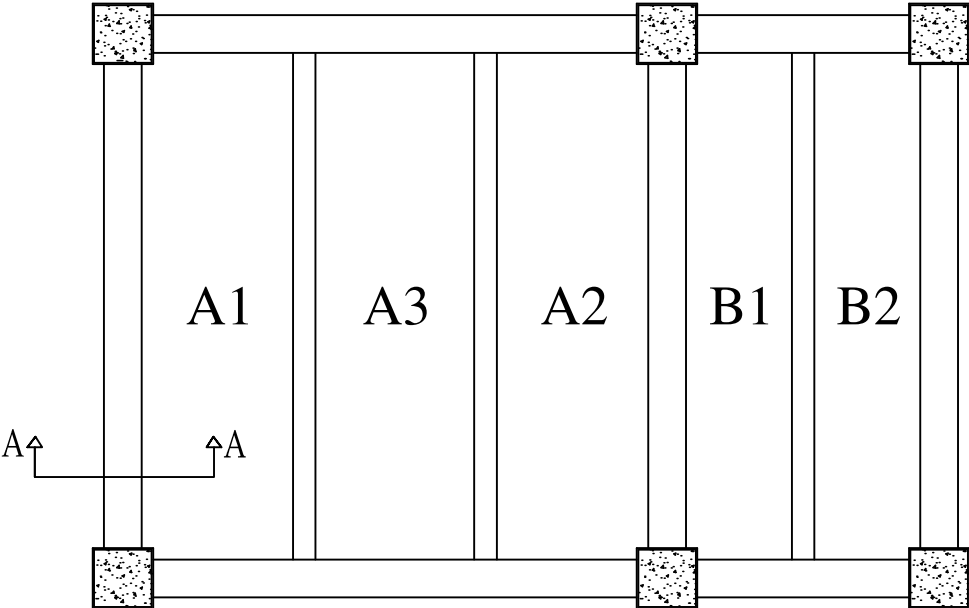
1 : 10

KODE GBR NO GBR JML GBR

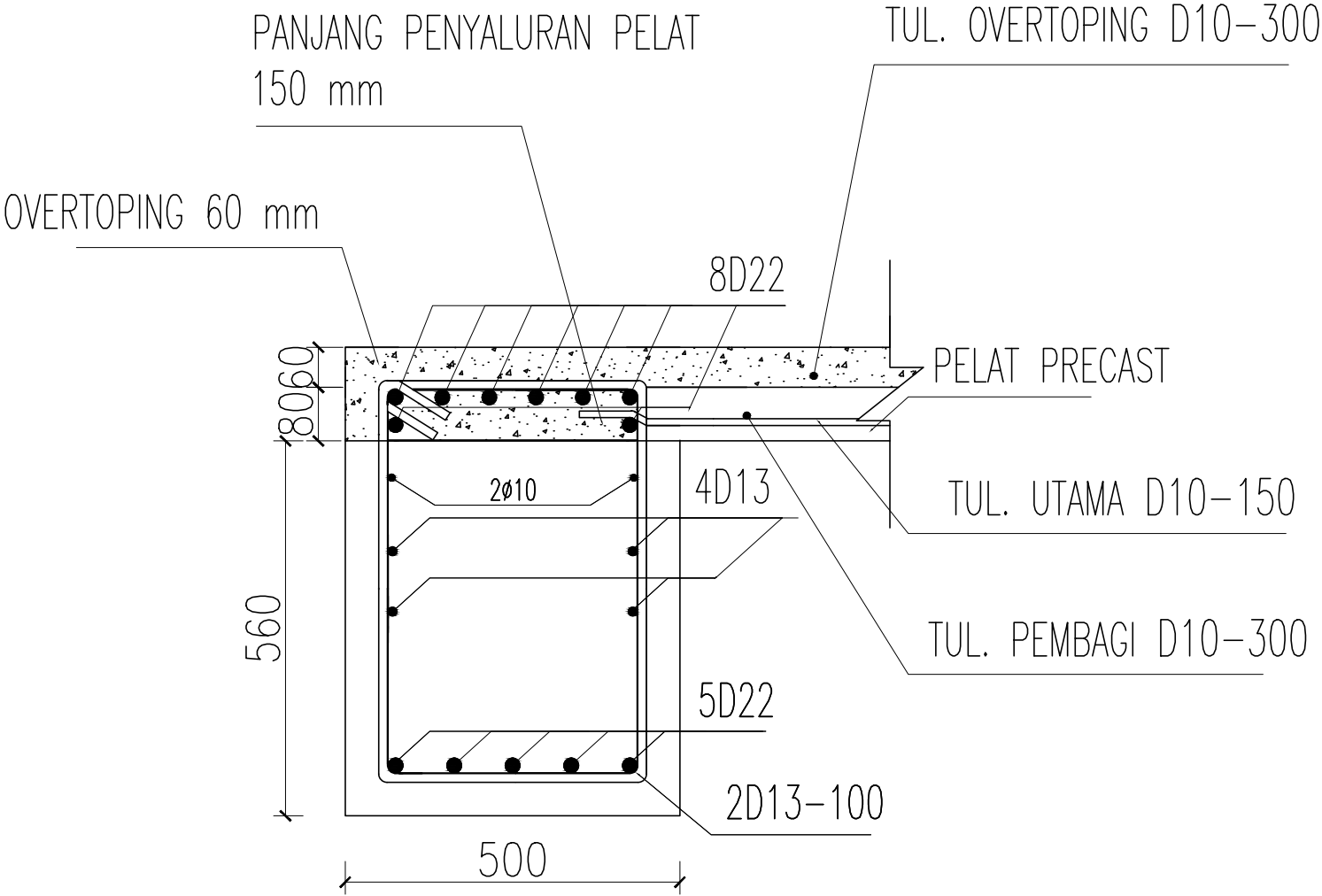
STR

77

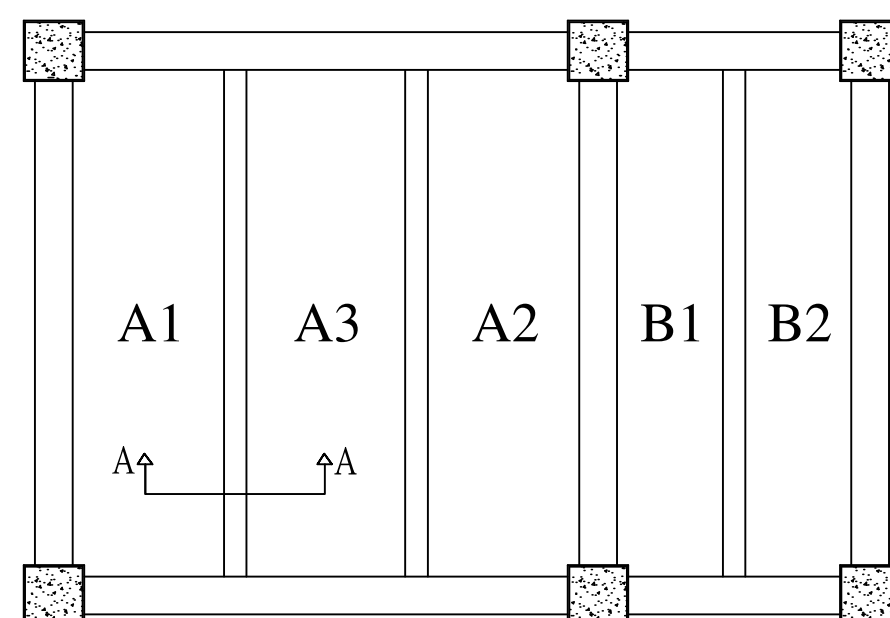
93



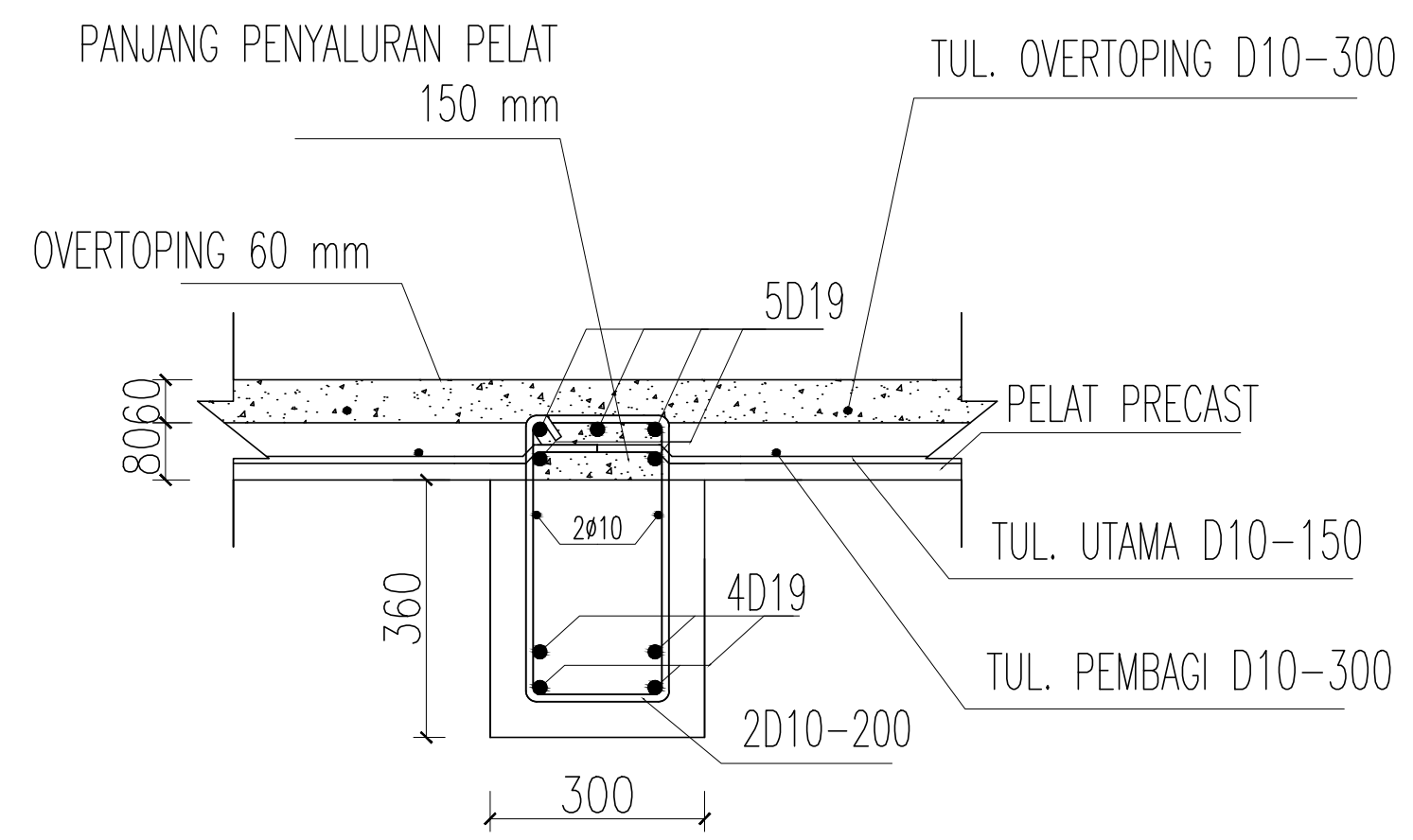
1:100 KEYPLAN DENAH PELAT



1:10 POT. A-A SAMBUNGAN BALOK INDUK - PELAT EKSTERIOR



1:100 KEYPLAN DENAH PELAT



1:10 POT. A-A SAMBUNGAN BALOK ANAK - PELAT INTERIOR



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

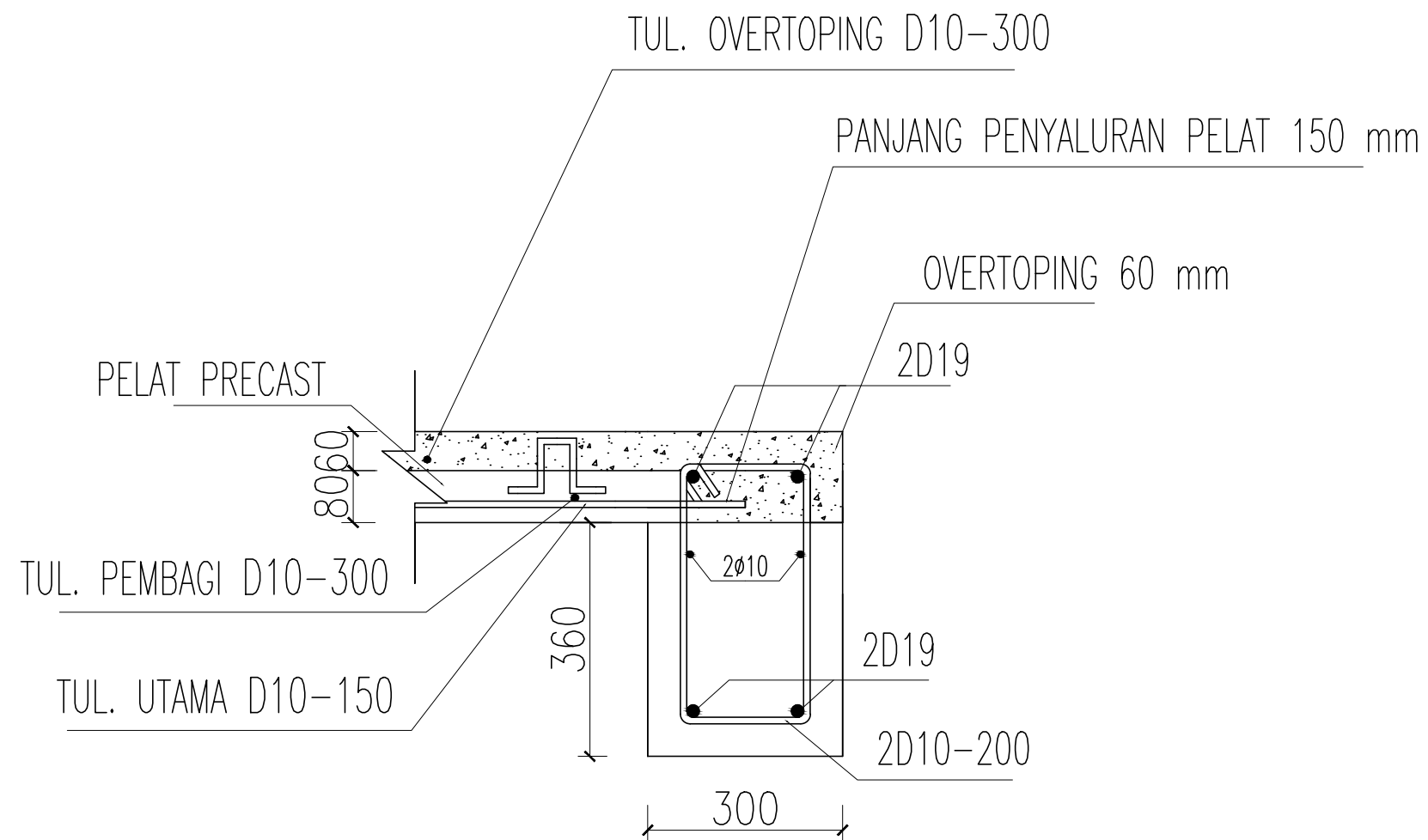
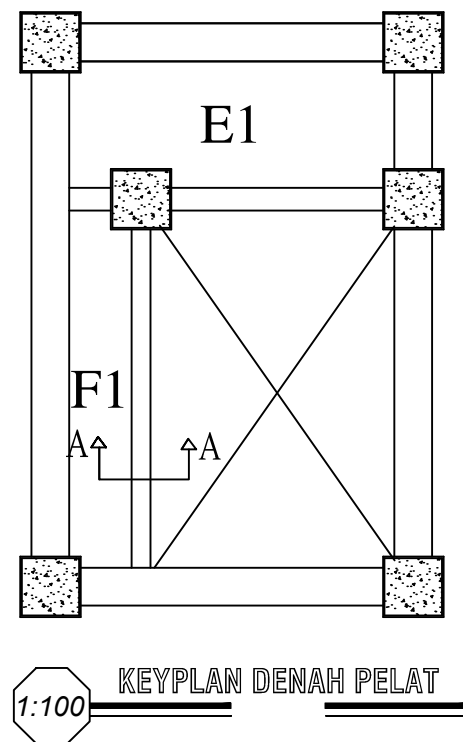
CATATAN

- Zona Gempa: Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR	SKALA
SAMBUNGAN BALOK ANAK - PELAT INTERIOR	1 : 10

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	78	93



1:10 POT. A-A SAMBUNGAN BALOK ANAK - PELAT EKSTERIOR



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (*PRECAST*)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

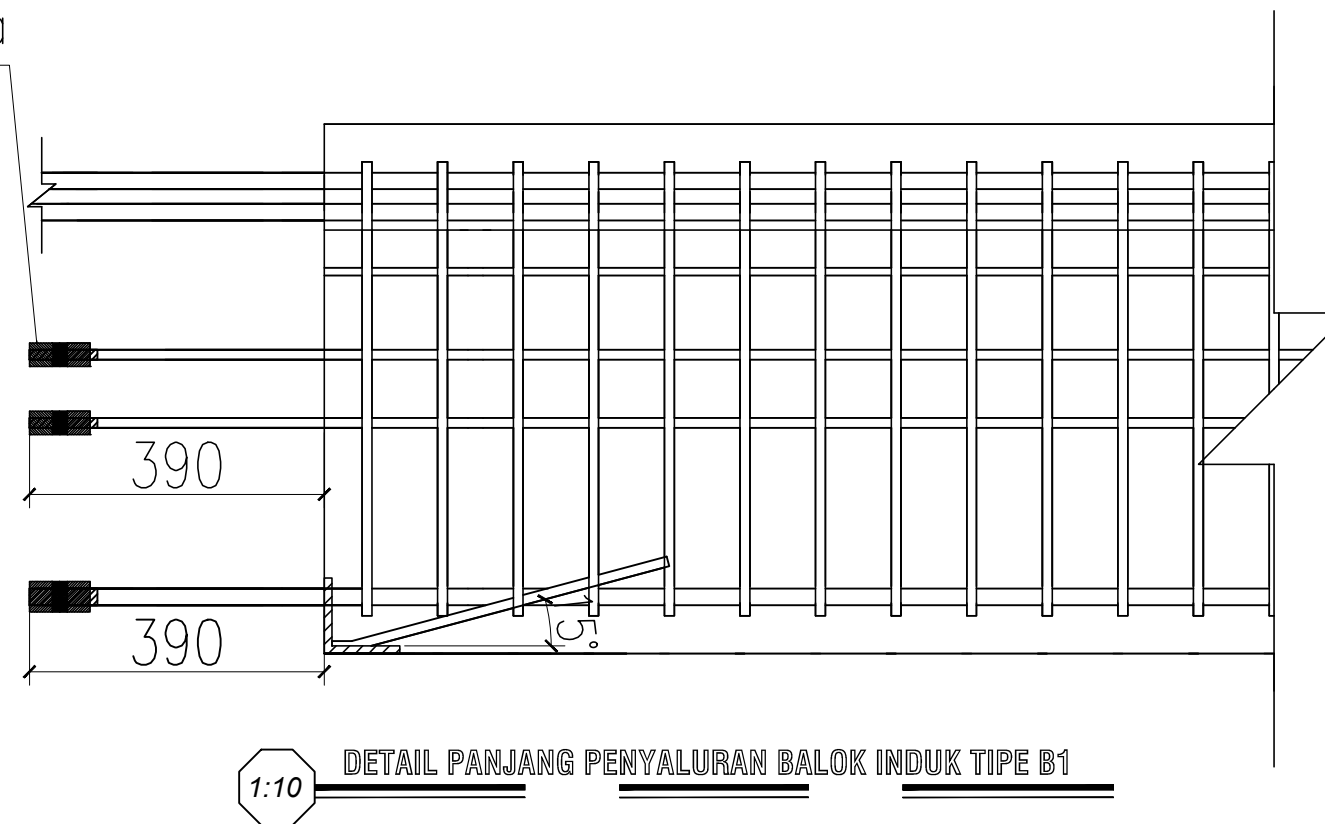
CATATAN

- Zona Gempa: Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

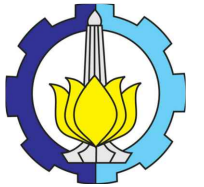
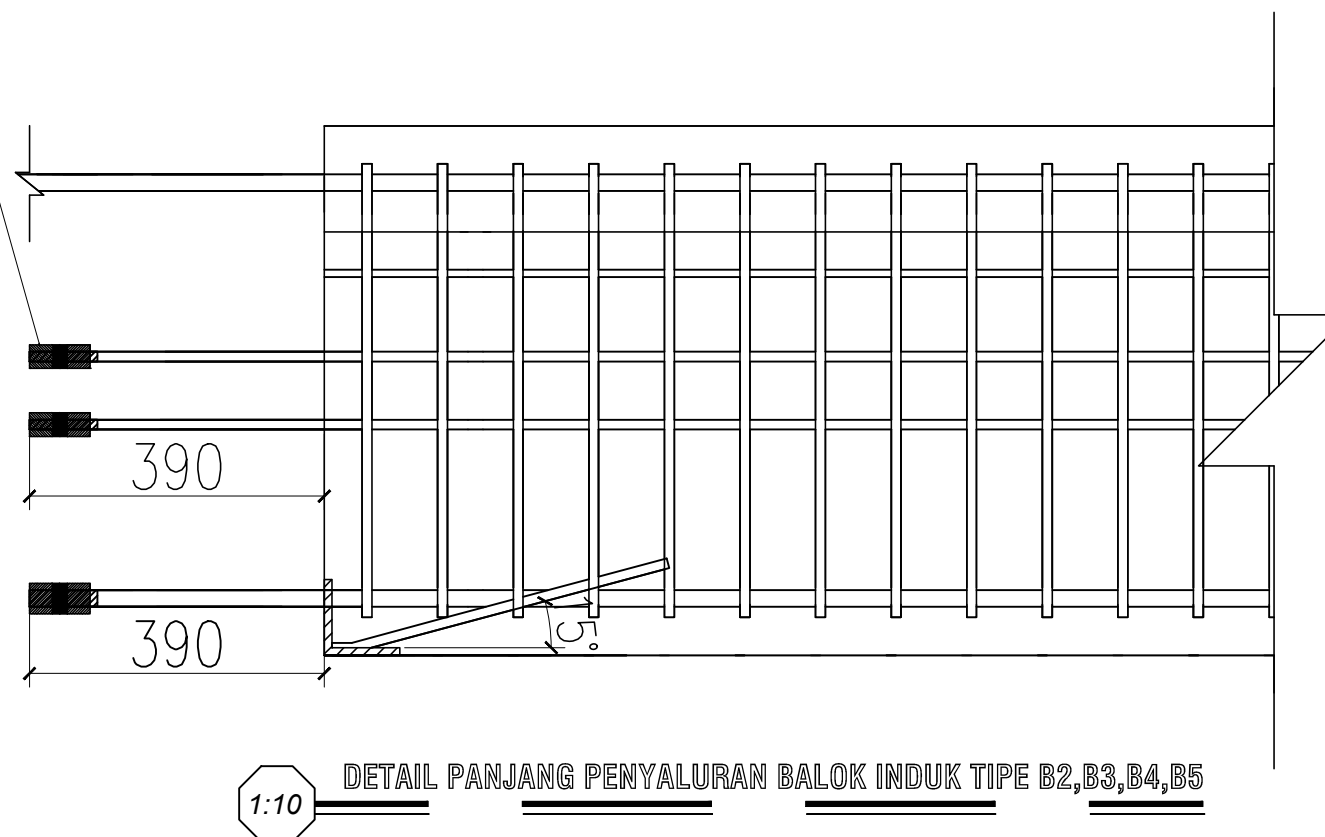
REVISI

JUDUL GAMBAR		SKALA
SAMBUNGAN BALOK ANAK - PELAT EKSTERIOR		1 : 10
KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	79	93

COUPLER $f_y=600$ MPa



COUPLER $f_y=600$ MPa



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (*PRECAST*)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 1011141000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa: Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR		SKALA
DETAIL PANJANG PENYALURAN BALOK INDUK INTERIOR		1 : 10
KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	80	93



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (*PRECAST*)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 1011141000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa: Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

DETAIL
PANJANG PENYALURAN
BALOK
INDUK EKSTERIOR

1 : 10

KODE GBR

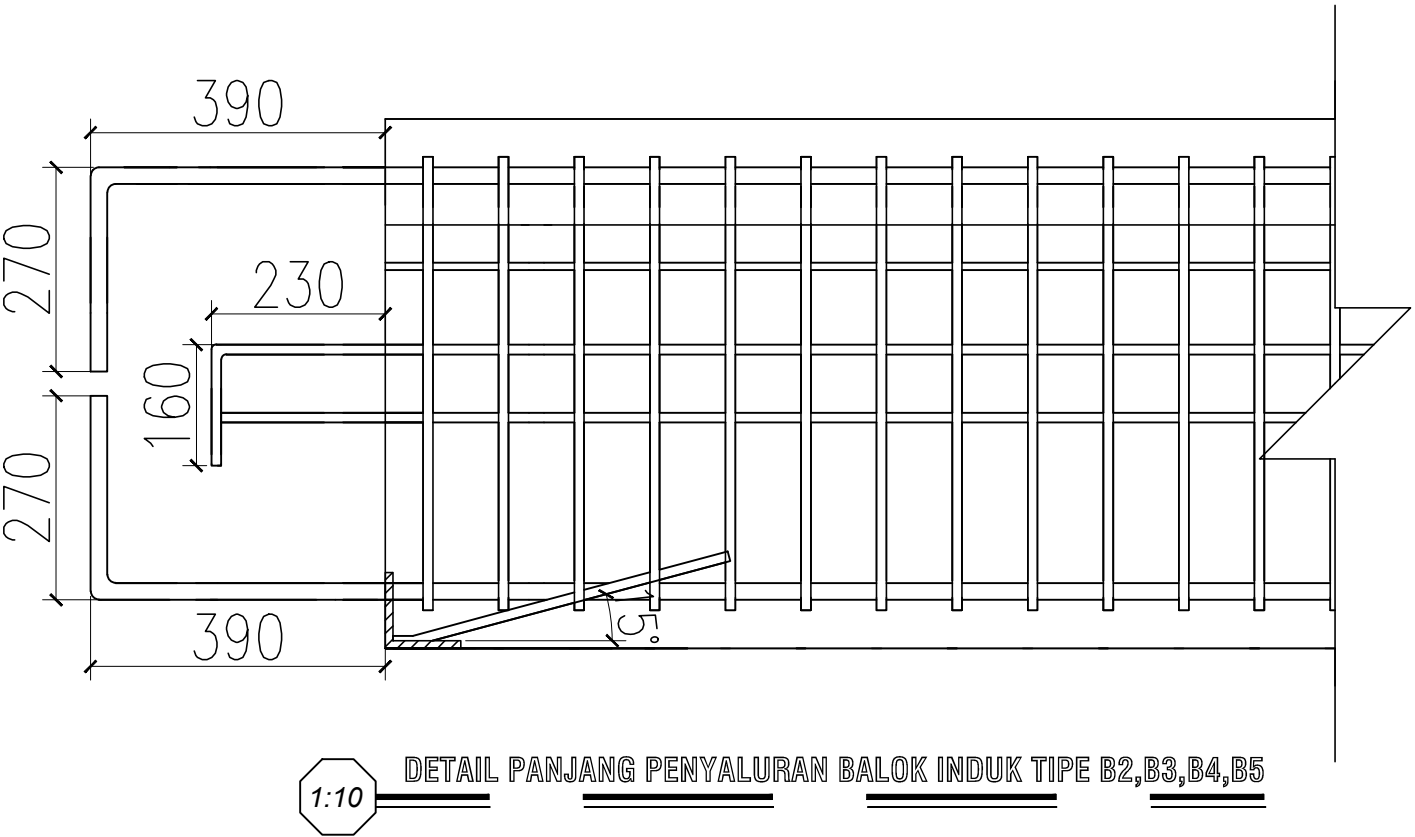
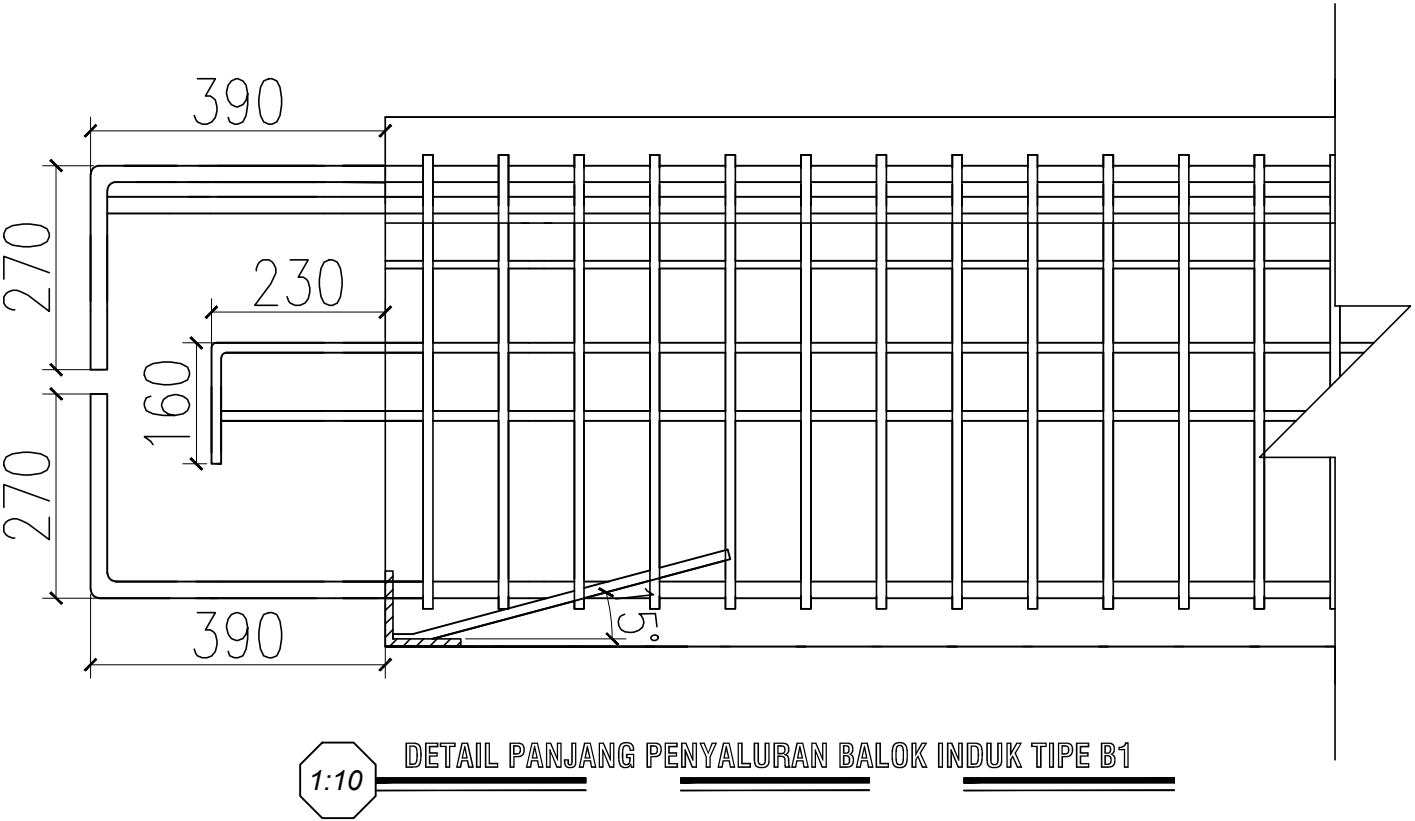
NO GBR

JML GBR

STR

81

93





DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (*PRECAST*)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

DETAIL PENULANGAN
KONSOL KOLOM

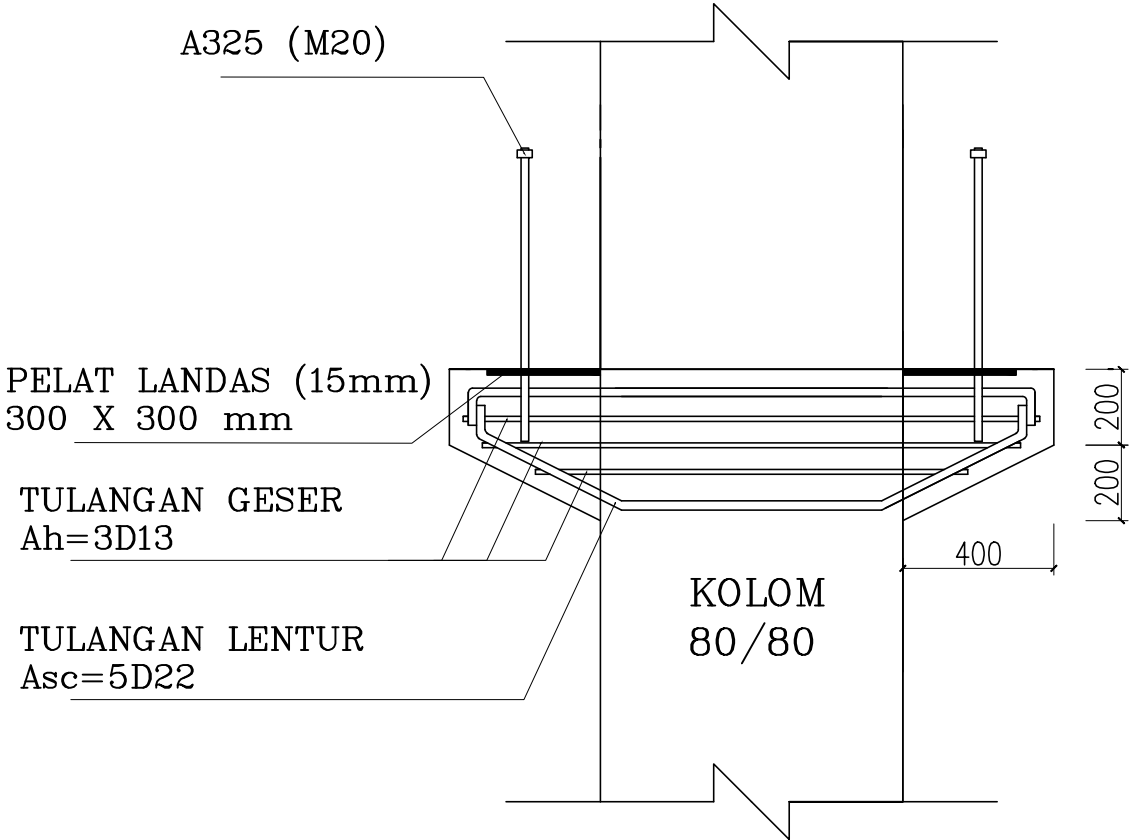
1 : 20

KODE GBR NO GBR JML GBR

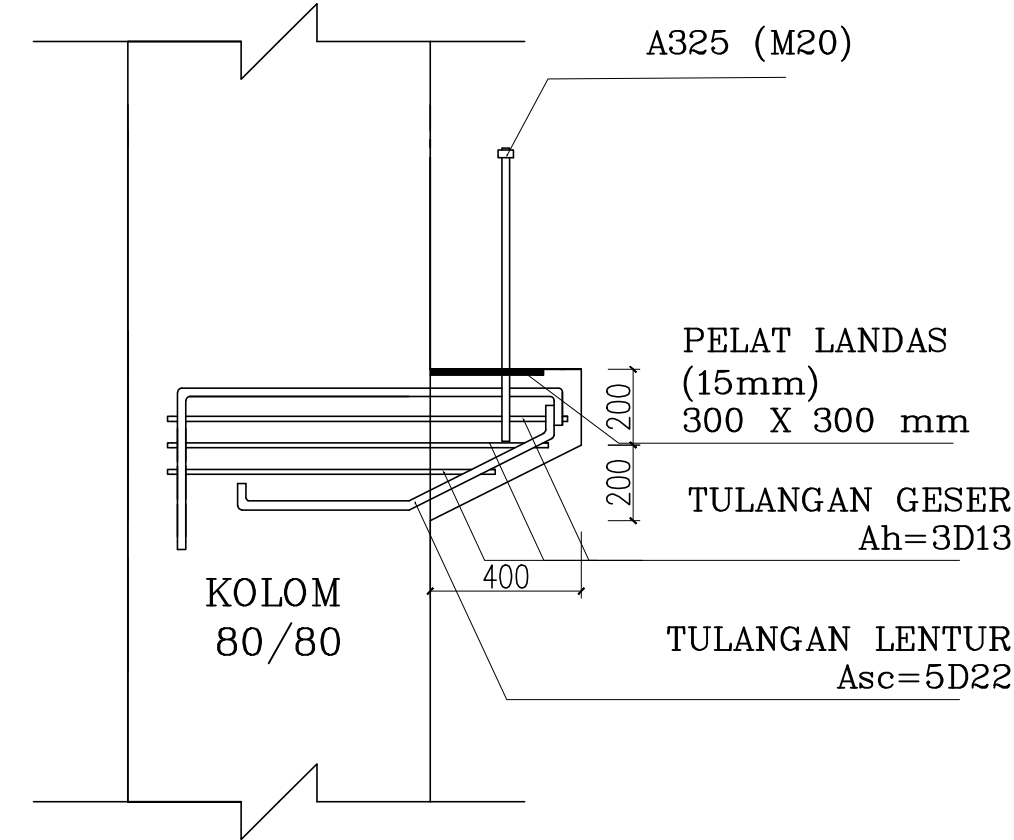
STR

82

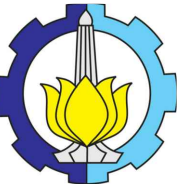
93



1:20 **DETAIL KONSOL KOLOM INTERIOR**



1:20 **DETAIL KONSOL KOLOM EKSTERIOR**



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (*PRECAST*)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

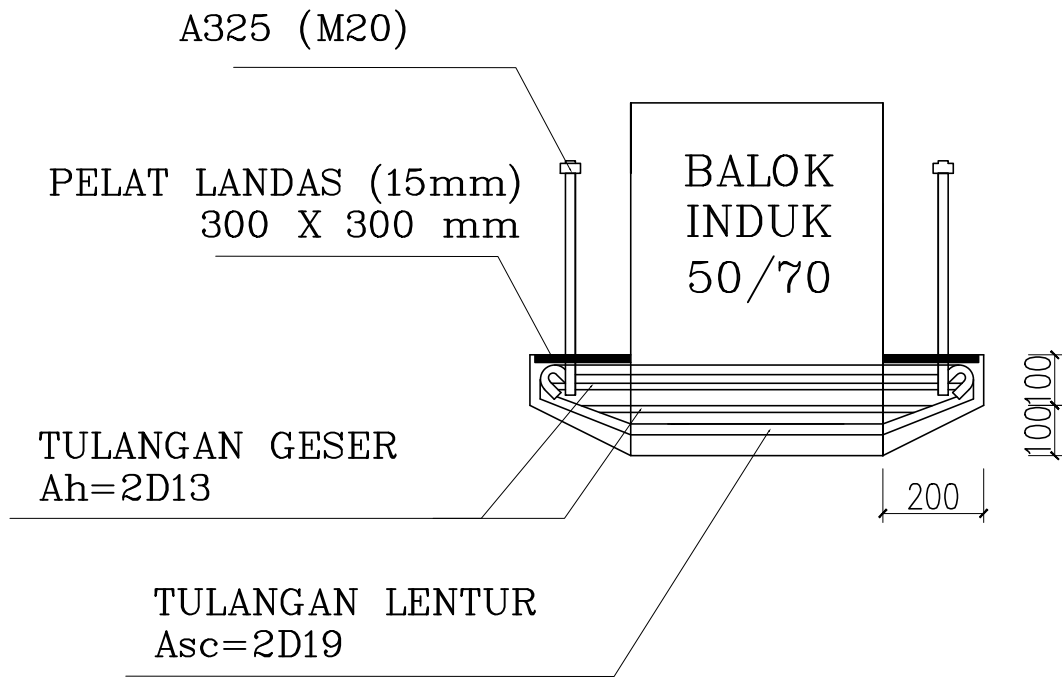
GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

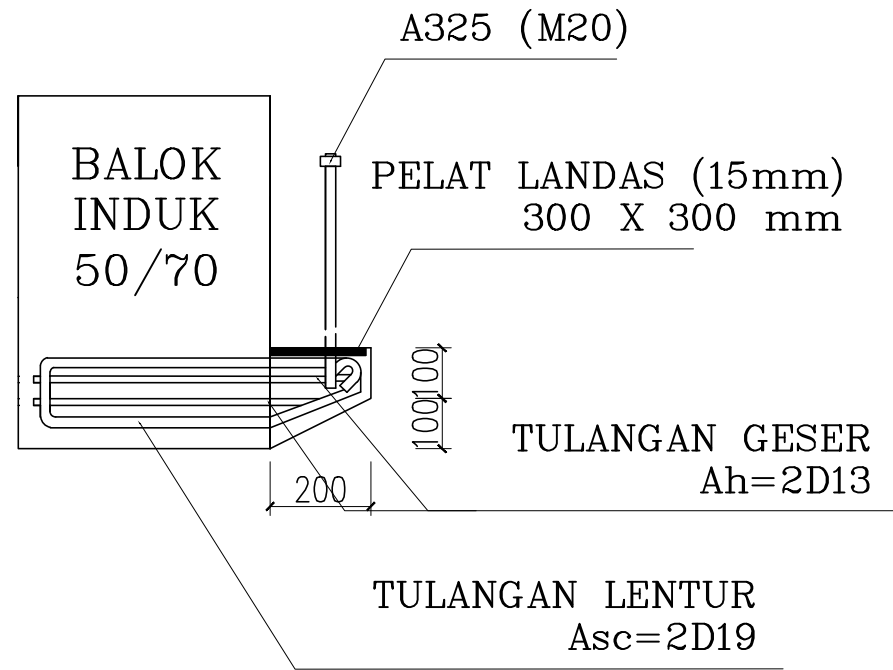
- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR		SKALA
DETAIL PENULANGAN KONSOL BALOK INDUK		1 : 15
KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	83	93



1:15 **DETAIL KONSOL BALOK INDUK INTERIOR**



1:15 **DETAIL KONSOL BALOK INDUK EKSTERIOR**



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (*PRECAST*)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 1011141000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

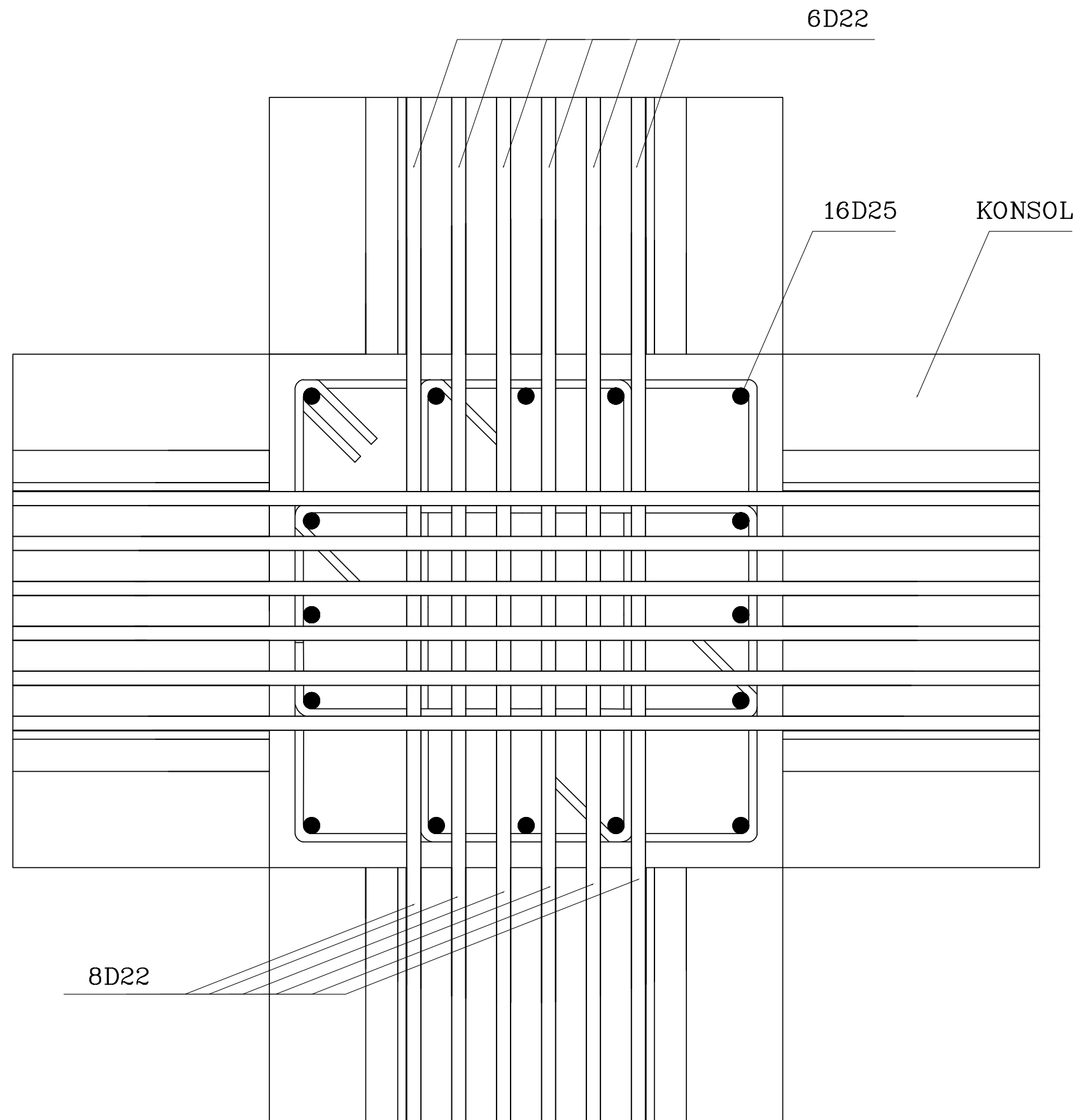
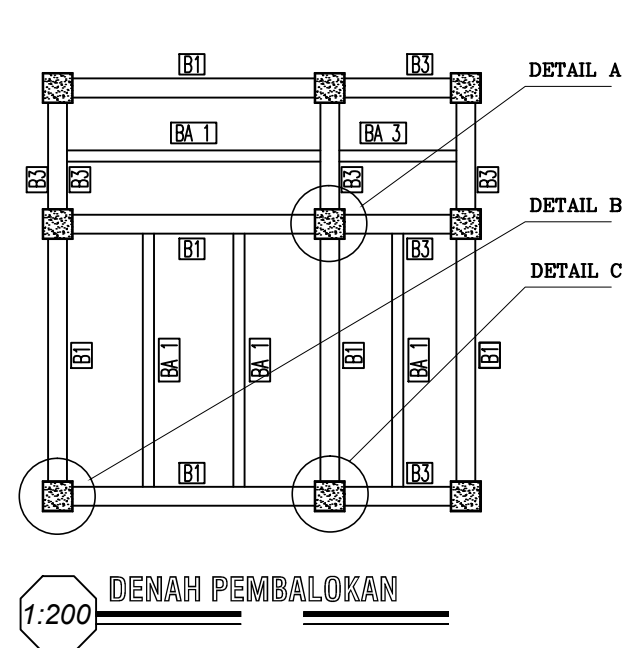
CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR	SKALA
PENULANGAN JOINT KOLOM DETAIL A	1 : 7,5

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	84	93



1:7,5 **DETAIL A PENULANGAN JOINT KOLOM**



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

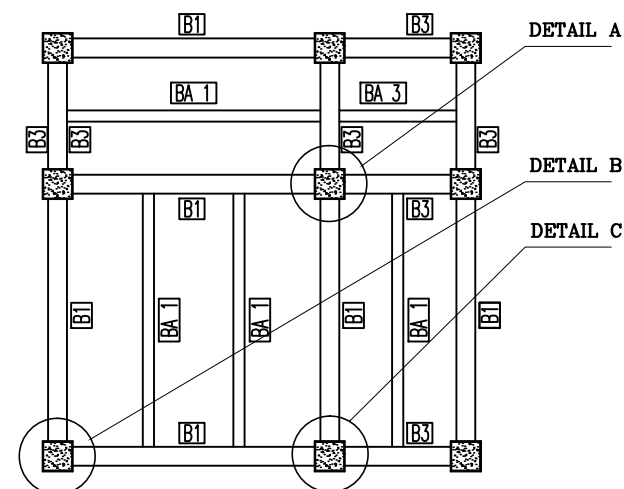
CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

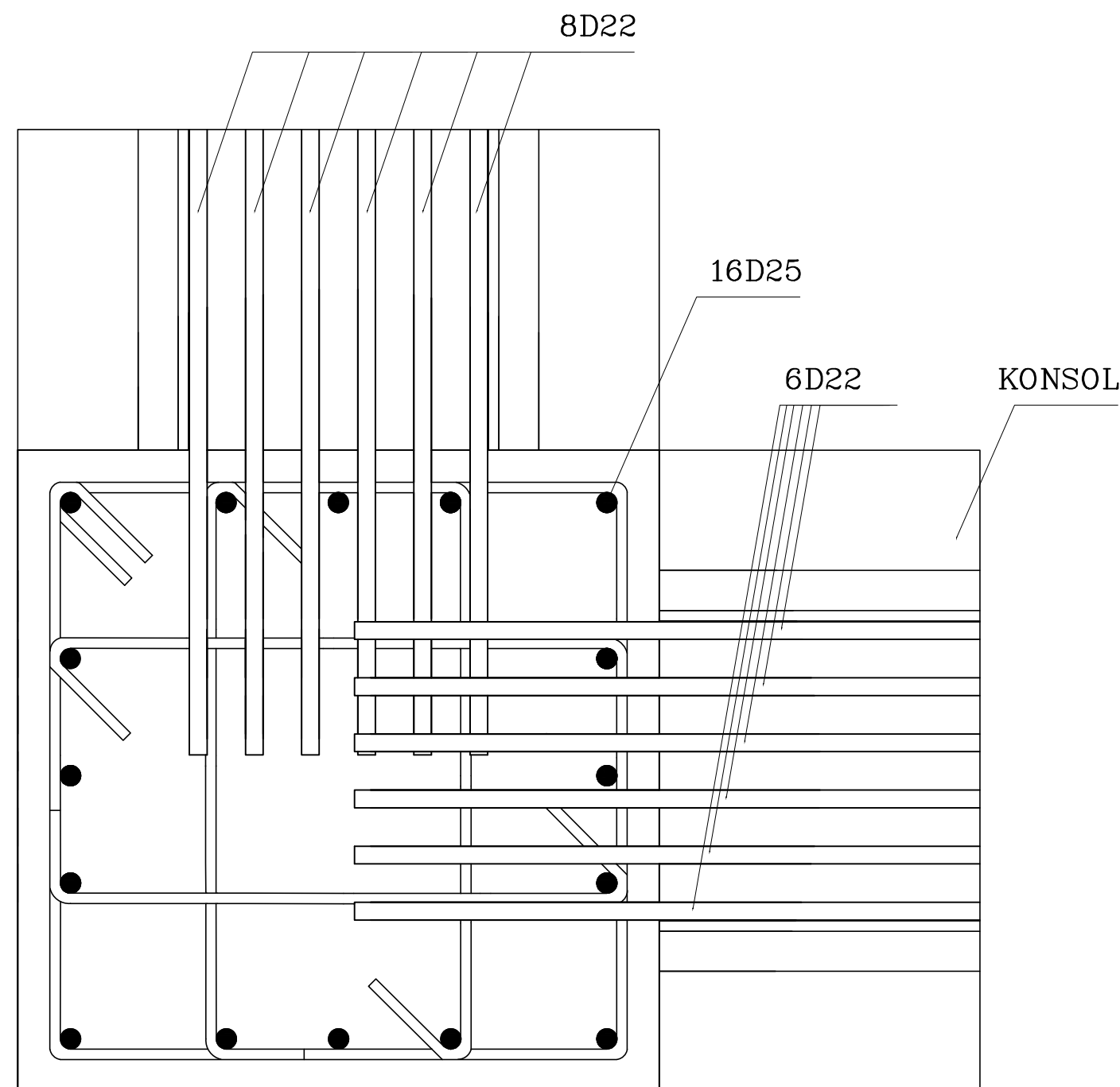
REVISI

JUDUL GAMBAR	SKALA
PENULANGAN JOINT KOLOM DETAIL B	1 : 7,5

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	85	93



1:200 DENAH PEMBALOKAN



1:7,5 DETAIL B PENULANGAN JOINT KOLOM



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (*PRECAST*)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

PENULANGAN
JOINT KOLOM
DETAIL C

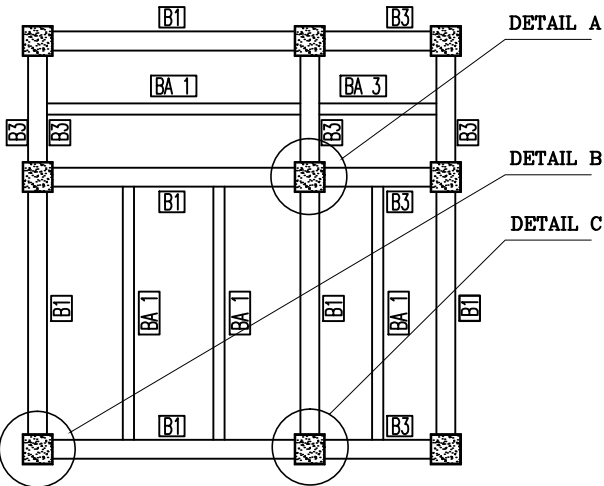
1 : 7,5

KODE GBR NO GBR JML GBR

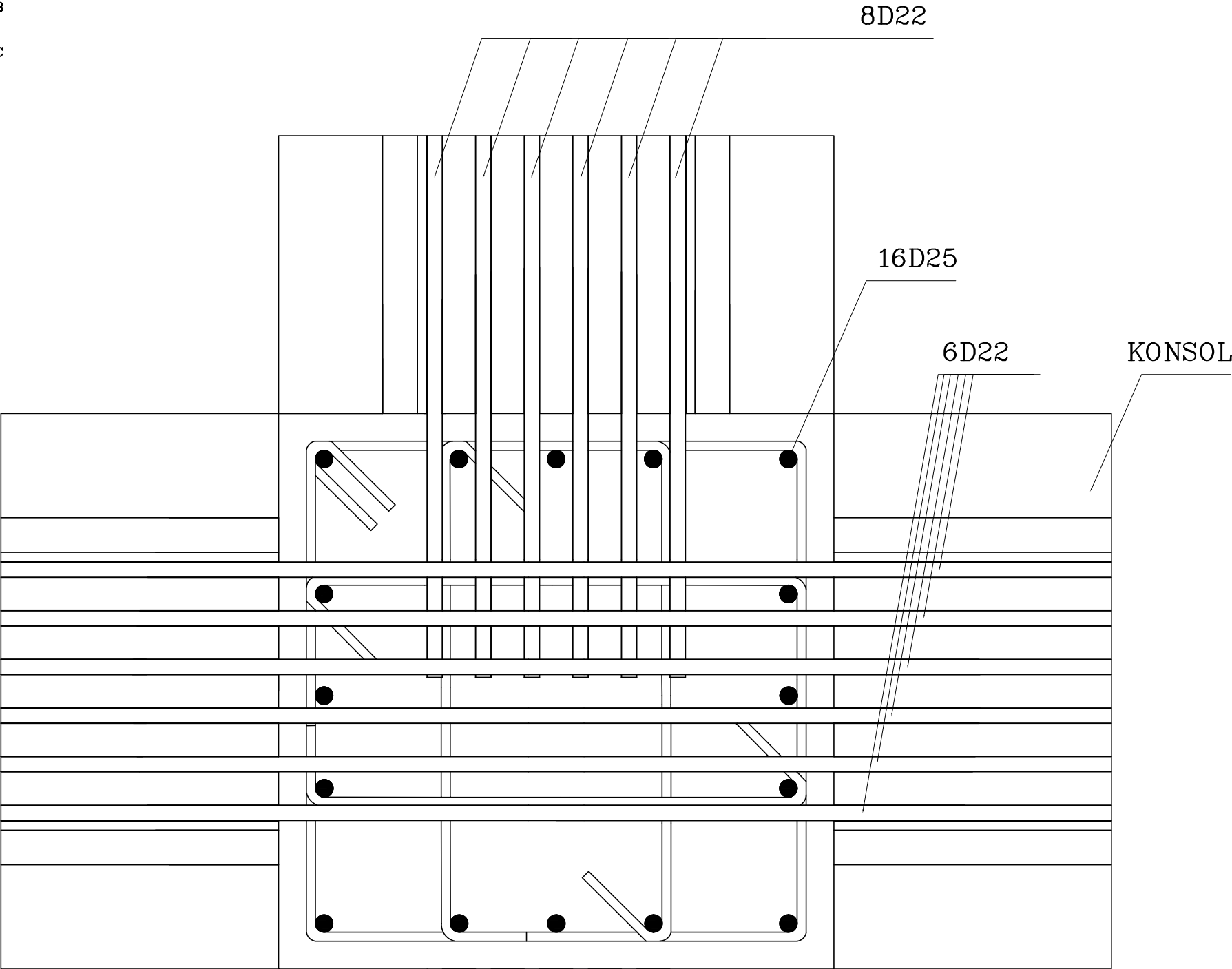
STR

86

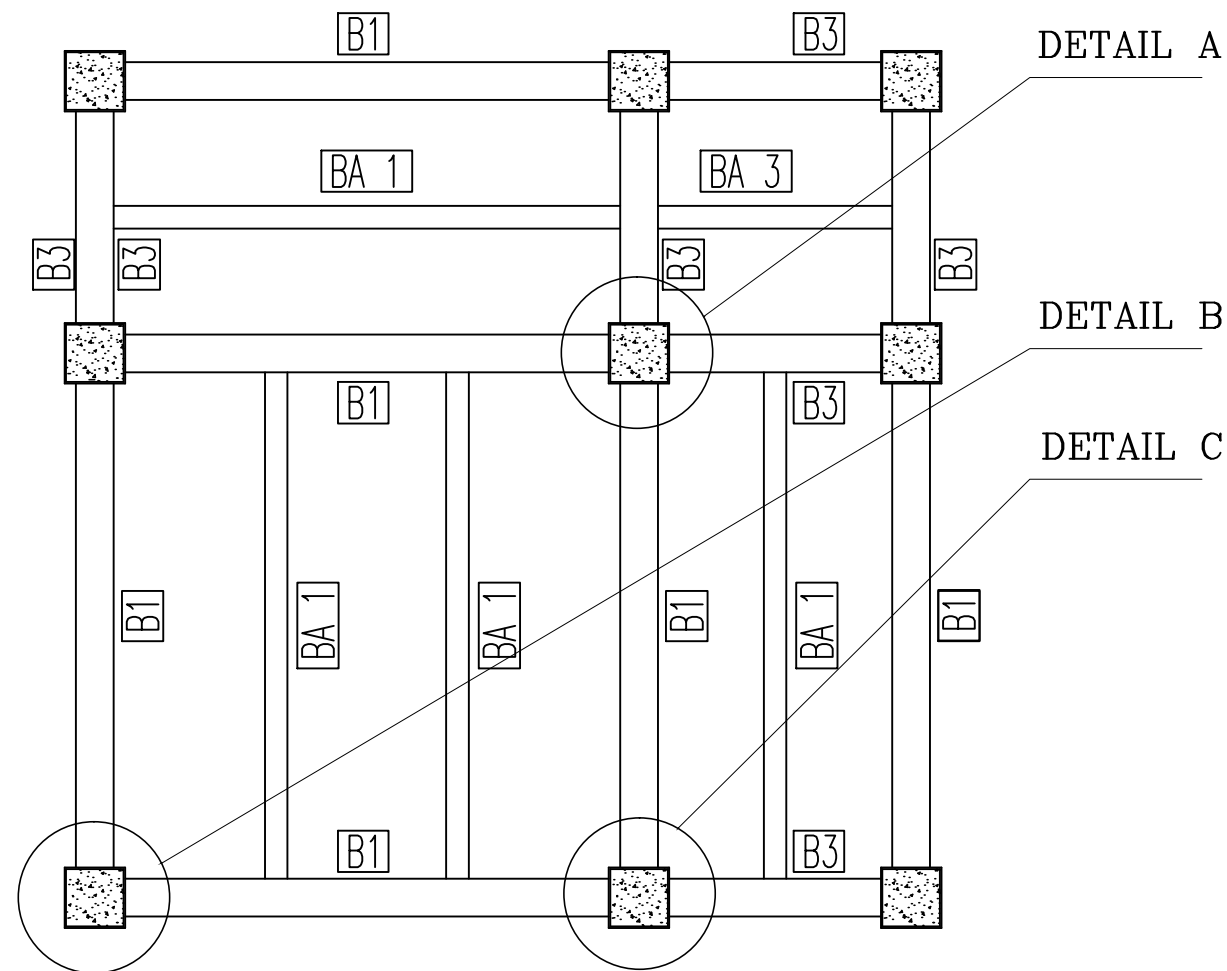
93



1:200 DENAH PEMBALOKAN

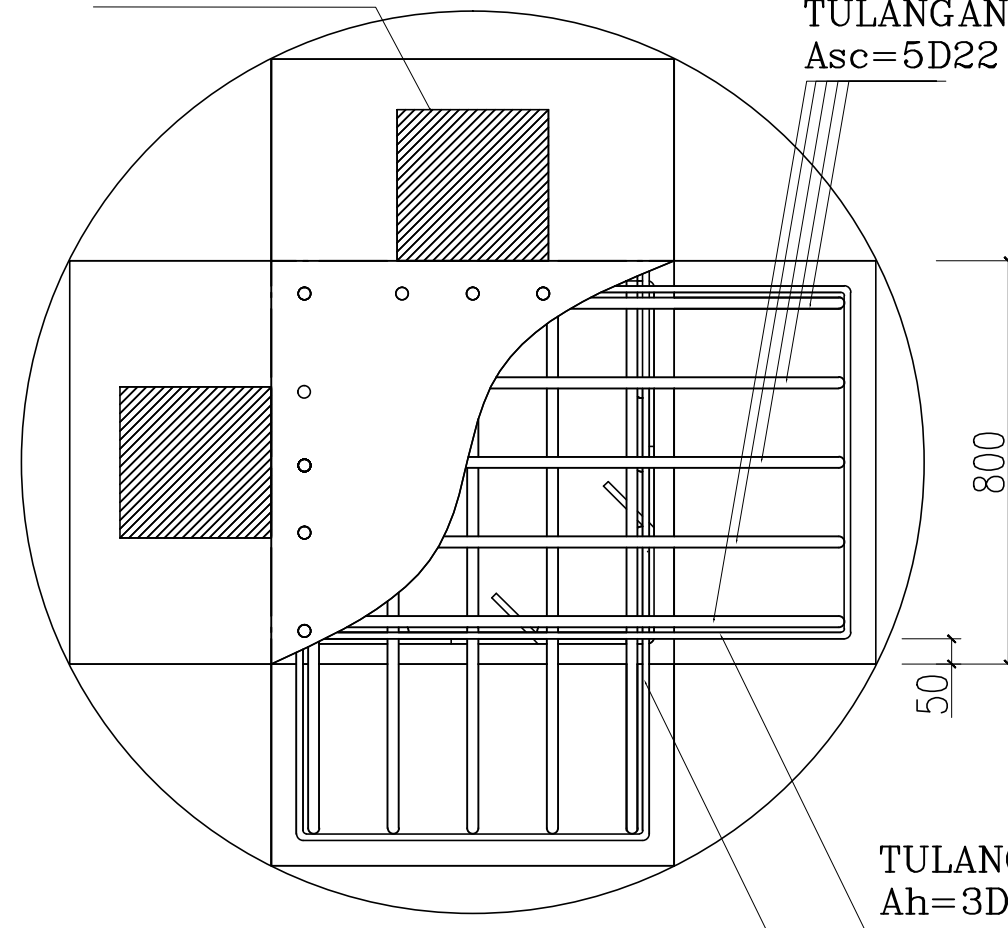


1:7,5 DETAIL C PENULANGAN JOINT KOLOM



1:100 DENAH PEMBALOKAN

PELAT LANDAS
300 X 300 mm (15 mm)



1:15 DETAIL A PENULANGAN KONSOL KOLOM



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

PENULANGAN
KONSOL KOLOM
DETAIL A

SKALA

1 : 15

KODE GBR

STR

NO GBR

87

JML GBR

93



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

PENULANGAN
KONSOL KOLOM
DETAIL B

SKALA

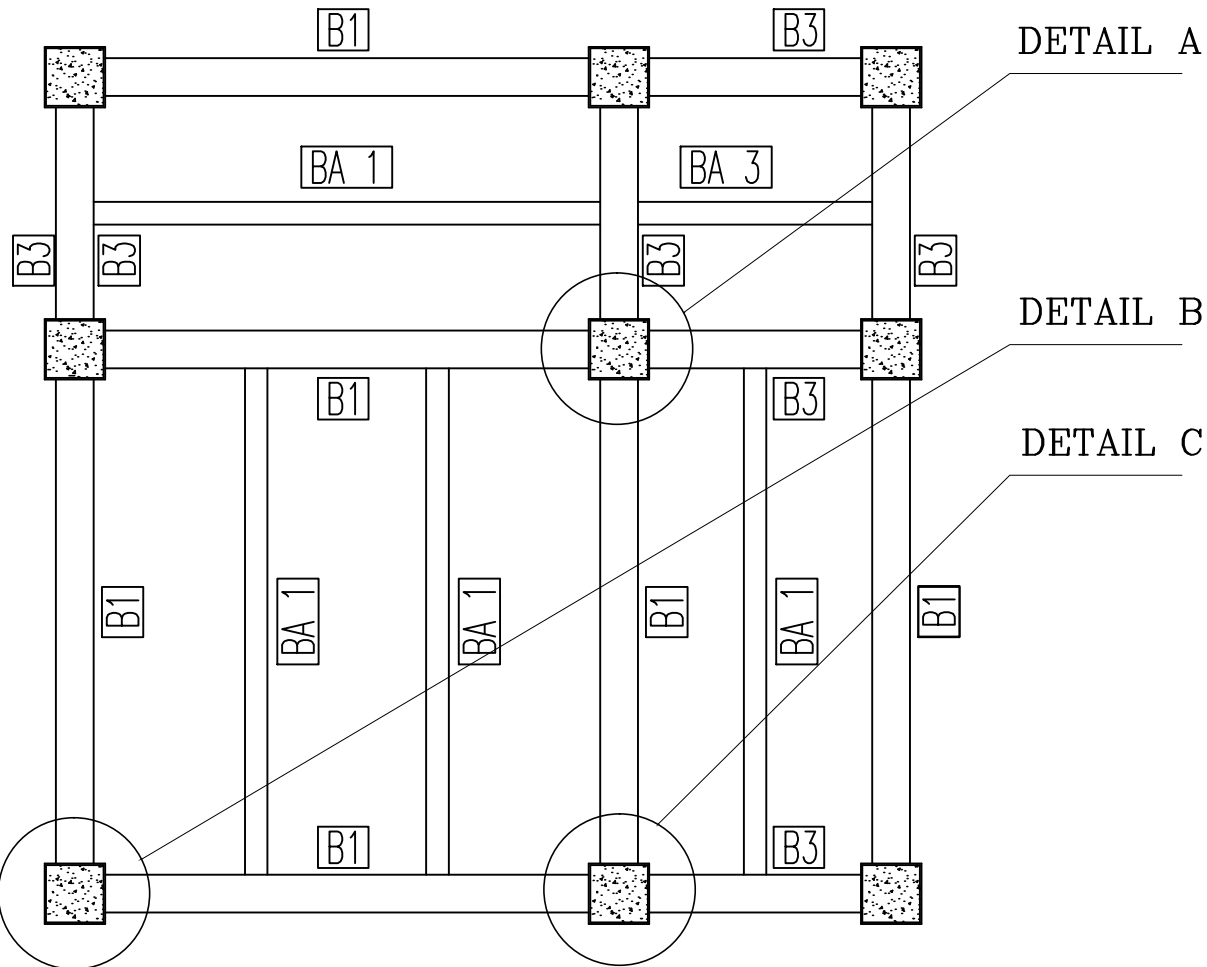
1 : 15

KODE GBR NO GBR JML GBR

STR

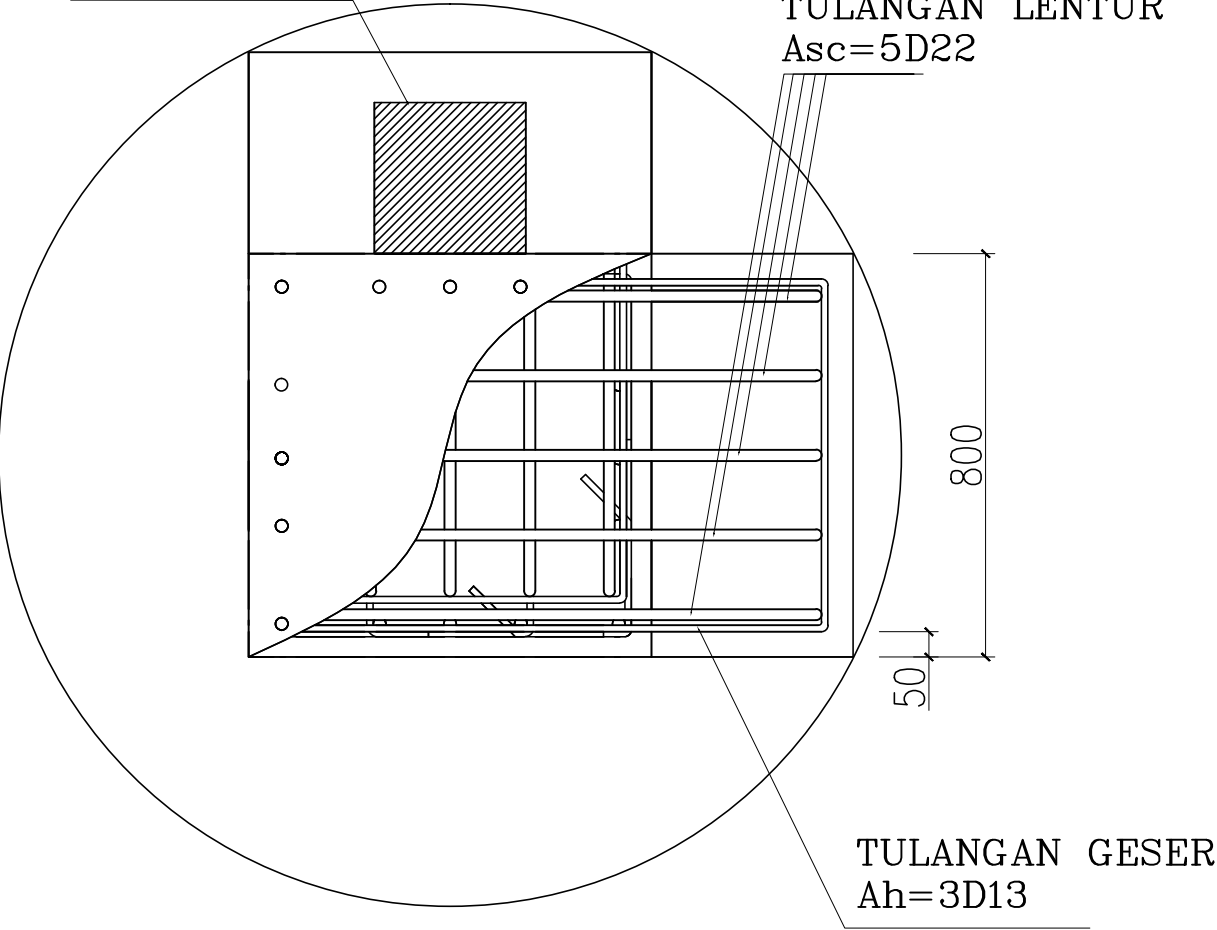
88

93

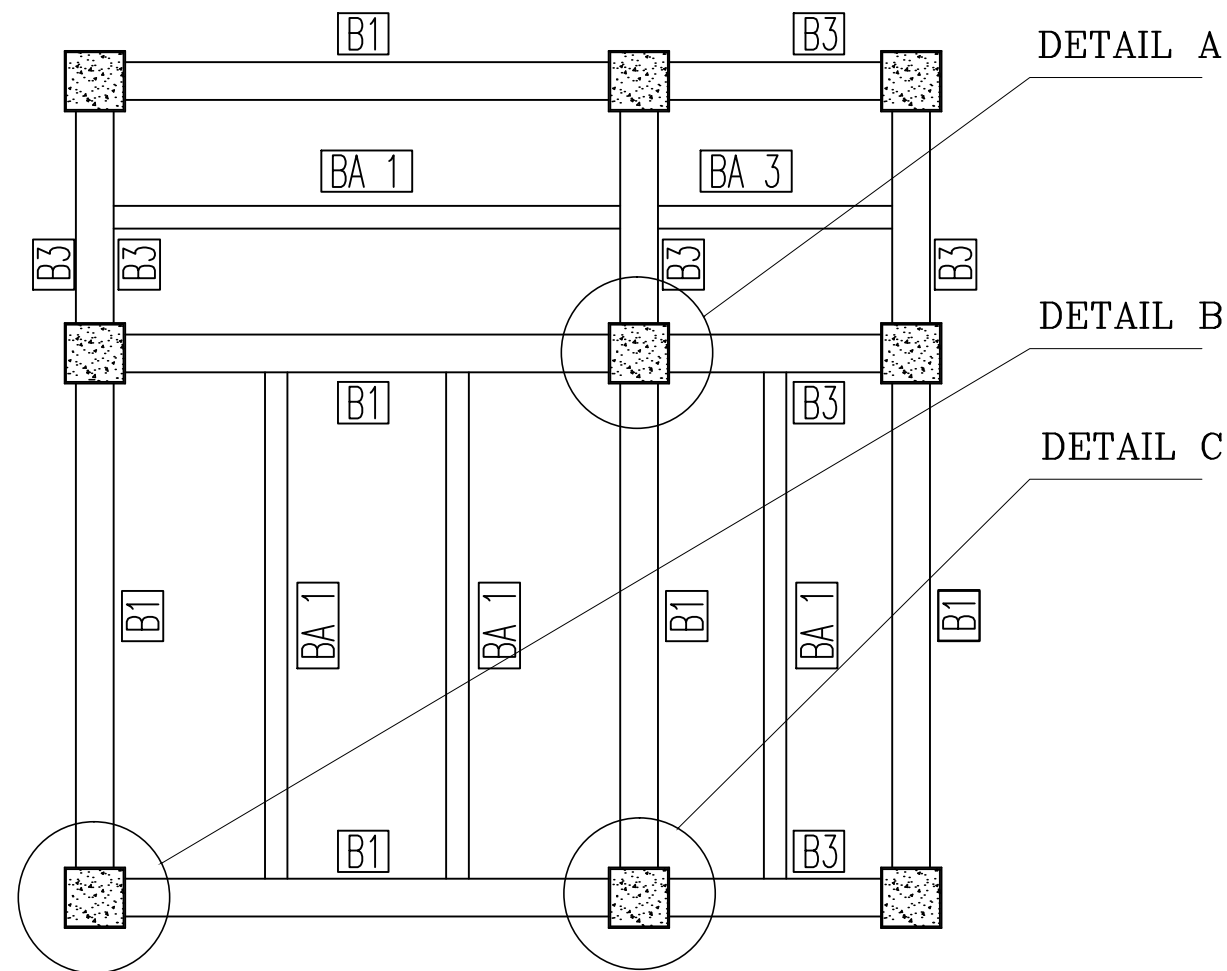


1:100 DENAH PEMBALOKAN

PELAT LANDAS
300 X 300 mm (15 mm)

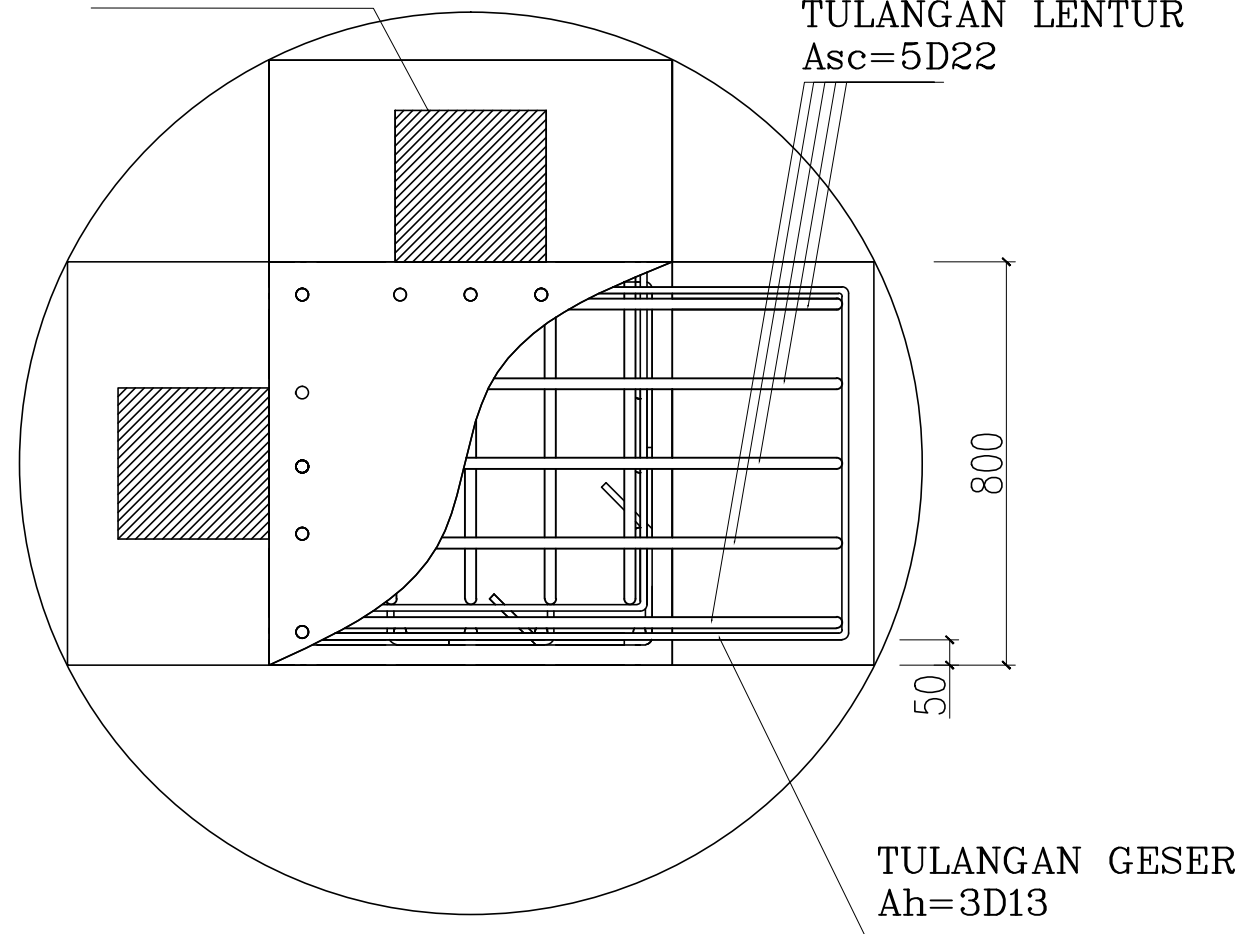


1:15 DETAIL B PENULANGAN KONSOL KOLOM

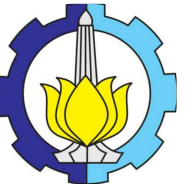


1:100 DENAH PEMBALOKAN

PELAT LANDAS
300 X 300 mm (15 mm)



1:15 DETAIL C PENULANGAN KONSOL KOLOM



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR		SKALA
PENULANGAN KONSOL KOLOM DETAIL C		1 : 15
KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	89	93



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

PENULANGAN
KONSOL BALOK INDUK
DETAIL A

SKALA

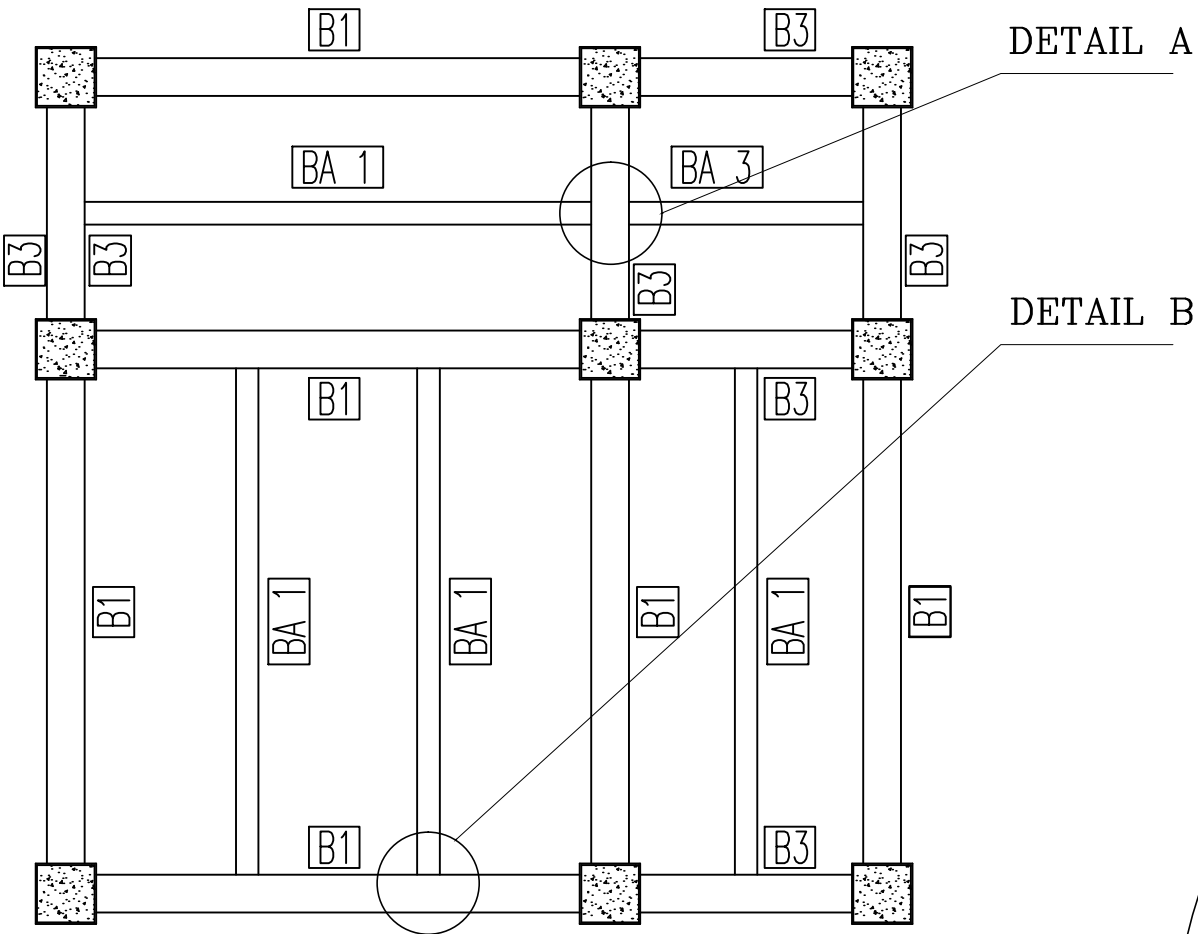
1 : 10

KODE GBR NO GBR JML GBR

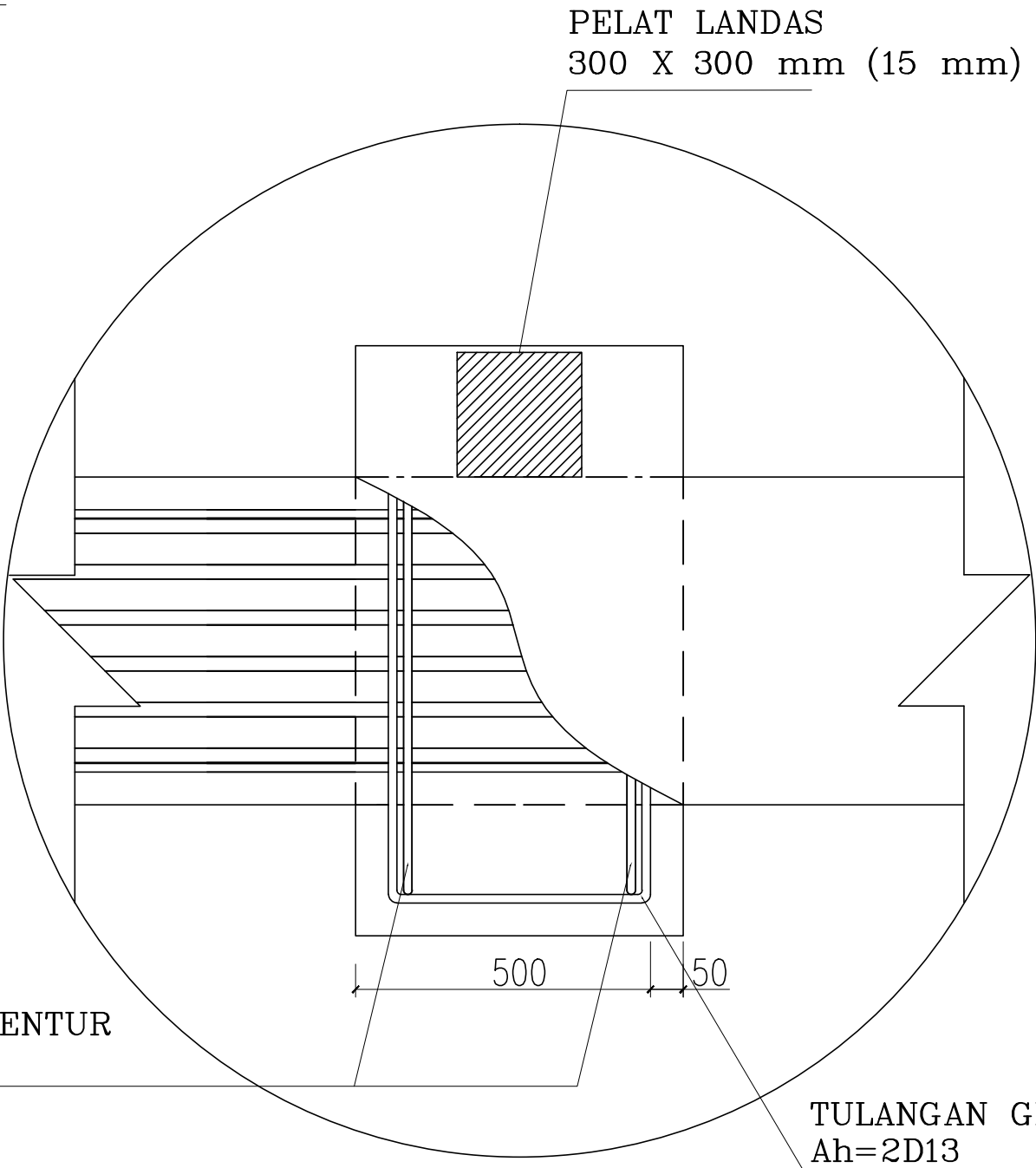
STR

90

93



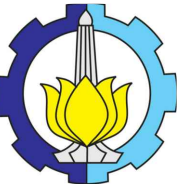
1:100 DENAH PEMBALOKAN



TULANGAN LENTUR
 $A_{sc}=2D19$

TULANGAN GESER
 $A_h=2D13$

1:10 DETAIL A PENULANGAN KONSOL BALOK INDUK



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

SKALA

PENULANGAN
KONSOL BALOK INDUK
DETAIL B

1 : 10

KODE GBR

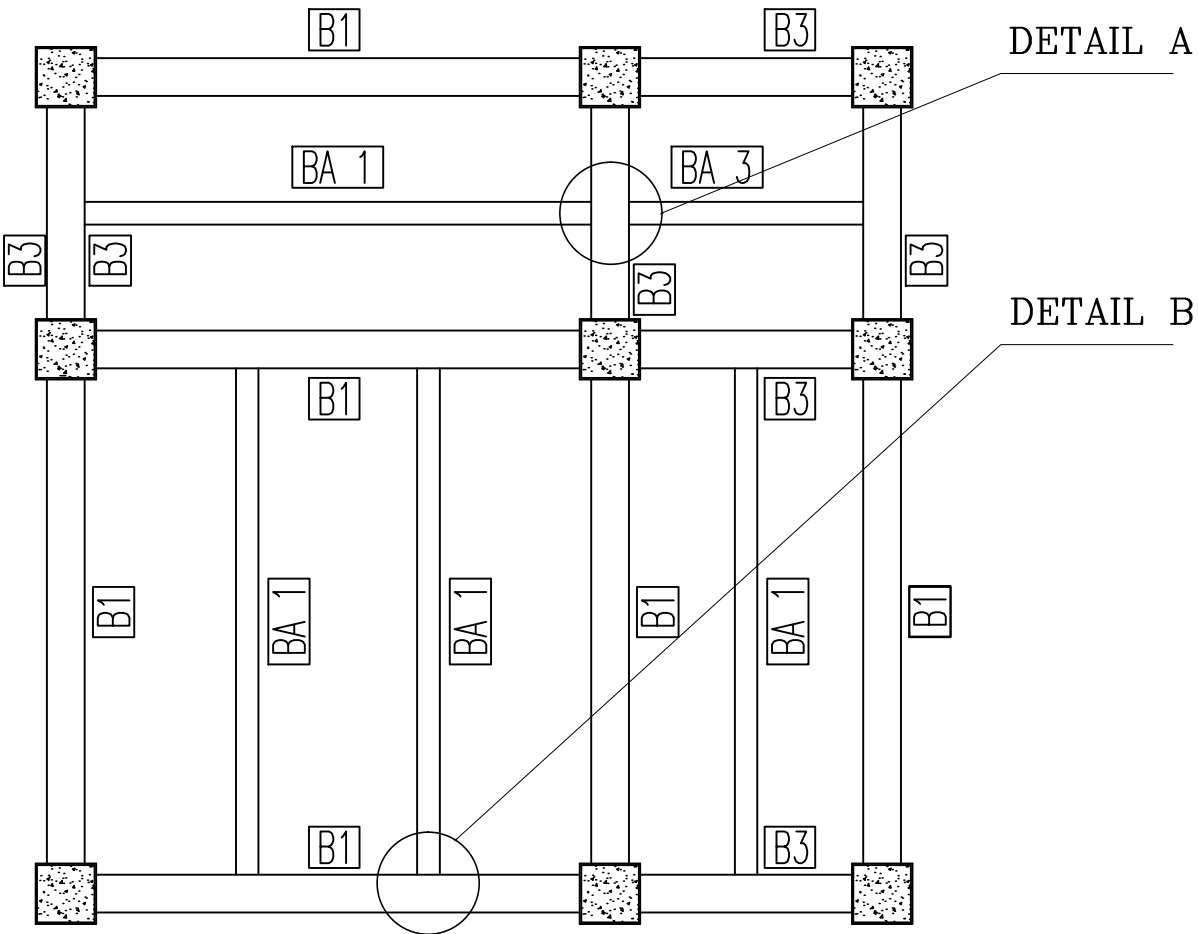
NO GBR

JML GBR

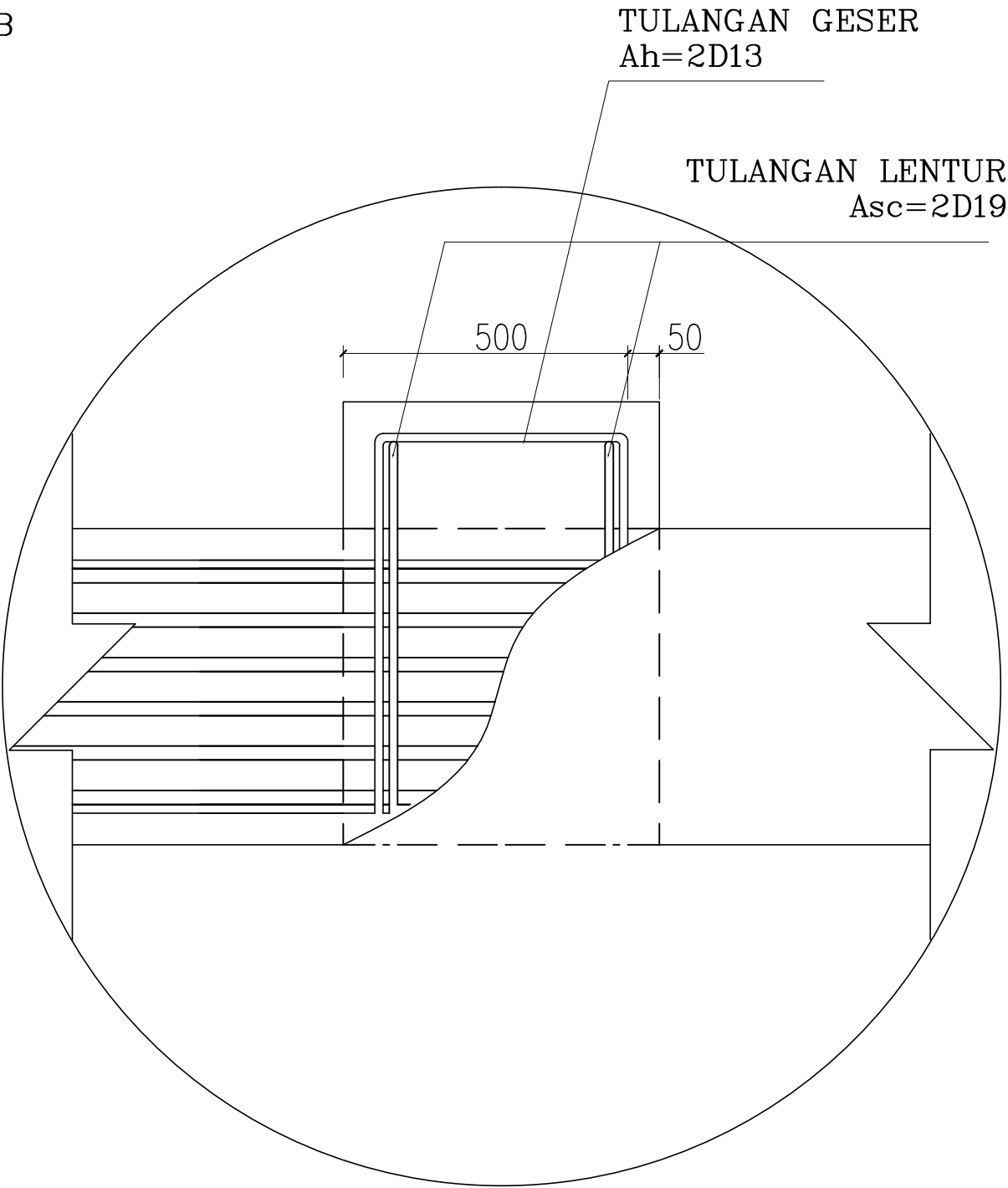
STR

91

93



1:100 DENAH PEMBALOKAN



1:10 DETAIL B PENULANGAN KONSOL BALOK INDUK



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (PRECAST)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

JUDUL GAMBAR

MAP TOWER CRANE

SKALA

1:250

KODE GBR

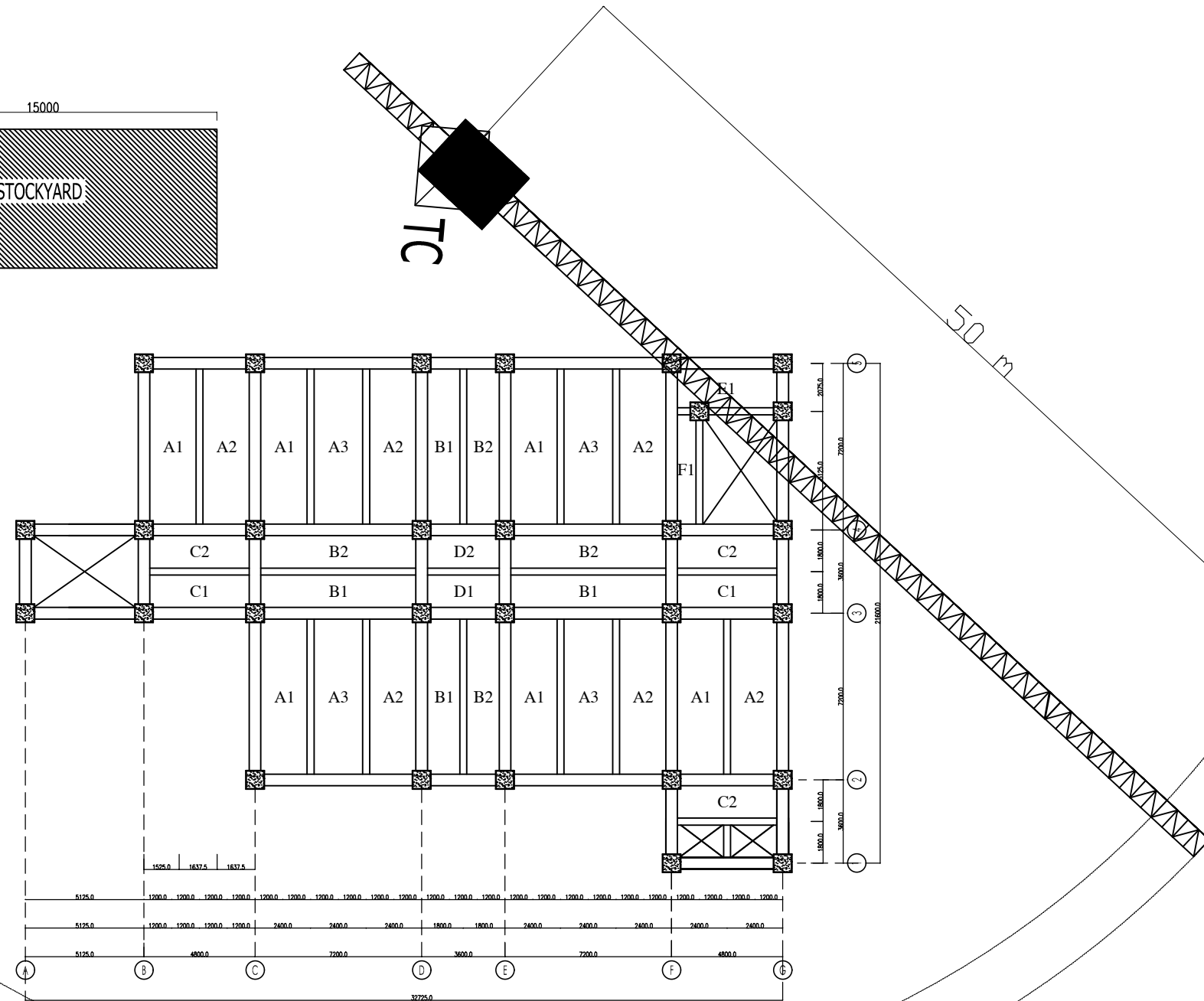
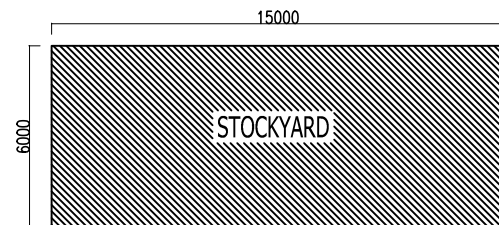
ARS

NO GBR

92

JML GBR

93



1:250 MAP TOWER CRANE



DEPARTEMEN TEKNIK
INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

PROYEK AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG PERKULIAHAN DI KOTA
SURABAYA DENGAN METODE
BETON PRACETAK (*PRECAST*)

NAMA MAHASISWA

M. Syaifuddin Zuhri
NRP. 10111410000088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

FUNGSI BANGUNAN

GEDUNG PENDIDIKAN
(SEKOLAH)

CATATAN

- Zona Gempa : Kota Surabaya
- Jenis Tanah : Lunak
- Mutu Baja : 400 MPa
- Mutu Beton : 35 MPa

REVISI

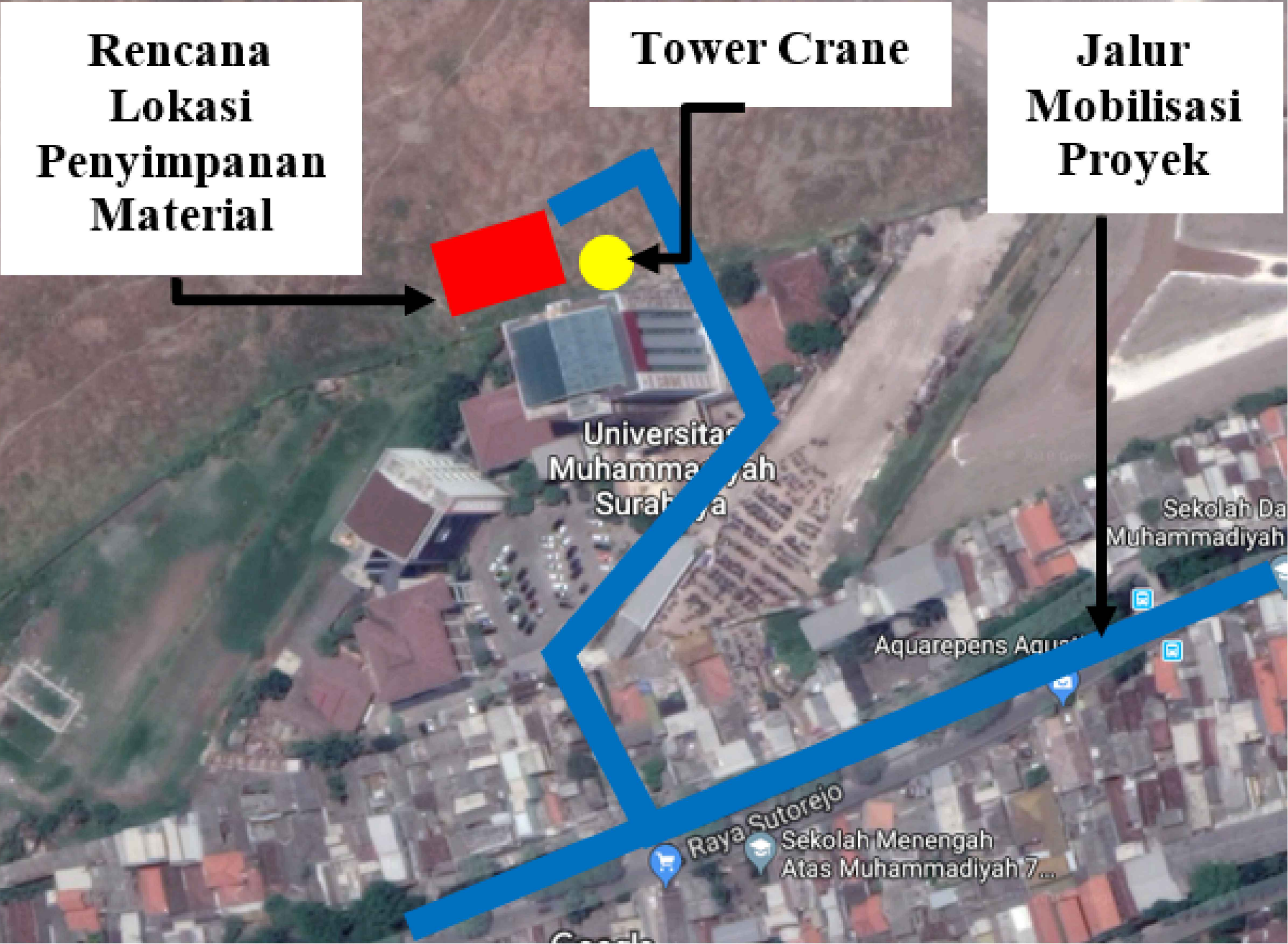
JUDUL GAMBAR

SKALA

MOBILISASI PROYEK

NTS

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
ARS	93	93



NTS MOBILISASI PROYEK

